

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program B2341 – Materiály a technologie

Strojírenská technologie

Zaměření tváření kovů a plastů

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Návrh postřikové jednotky pro aplikaci separačního prostředku

Project of spraying system for the application of release agent for demoulding

Michal Šlajer

KSP – TP – B20

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jan Stříbrný - *CiKautxo CZ s.r.o., Jablonec nad*

Nisou

Rozsah práce a příloh:

Počet stran	69
Počet tabulek	7
Počet příloh	3
Počet obrázků	47

Datum: 6. ledna 2007

ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studijní program: B2341 – Materiály a technologie

Diplomant: Michal Šlajer

Téma práce: Návrh postřikové jednotky pro aplikaci separačního prostředku

Project of spraying system for the application of release agent
for demoulding

Číslo BP: KSP – TP – B20

Vedoucí BP: Ing. Aleš Ausperger, Ph.D. – *TU v Liberci*

Konzultant: Ing. Jan Stříbrný - *CiKautxo CZ s.r.o., Jablonec nad Nisou*

Abstrakt:

Tématem bakalářské práce je hledání úspor ve výrobě a její zefektivnění pomocí navržení postřikové jednotky pro automatickou aplikaci separačního prostředku do dutin formy. Jsou zde obecně popsány polymery a druhy forem pro vstřikování elastomerů. Je proveden popis sestavení postřikové jednotky a její uvedení do provozu. Výsledky z průběhu experimentu jsou zaznamenány v tabulkách. K tabulkovým výsledkům jsou připojeny grafické výstupy. V příloze je vymodelován 3D model postřikové jednotky. Je uvedeno ekonomické zhodnocení projektu včetně závěru a doporučení.

Abstract:

The subject of this diploma work deals with finding a better economy and a higher efficiency of production by means of the designed spraying system that applies the antistatic agent automatically into cavities. There is a general description of polymers and kinds of molds for the polymer injection molding. There is also given the construction of spraying system and its setting into operation. The results obtained during the experiment are demonstrated in the tables and diagrams. 3D model of spraying system is attached. There is also given economic evaluation including the conclusion and recommendation.

Místopřísežné prohlášení:

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci dne 6.ledna 2007

.....

Michal Šlajer

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon
Č. 121 / 2000 Sb. O právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých
autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji – li bakalářskou práci nebo poskytnu – li licenci k jejímu využití, jsem si
vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL
právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do
jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na
základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum: 6.ledna 2007

Podpis

Declaration

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121 / 2000 Coll. Applies my thesis in full in particular Section 60, School work.

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the international purposes of TUL.

If I use my thesis of grant a licence for its use, I am aware of the fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expenses invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on the basis of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: January, 6 2007

Signature:

OBSAH:

1. ÚVOD	12
1.1 Cíl práce	14
2. TEORETICKÁ ČÁST	17
2.1 POLYMERY	16
2.1.1 Polymerace, polykondenzace, polyadice	17
2.1.2 Dělení plastů, vlastnosti	18
2.1.3 Elastomery, kaučuky a pryže	20
2.1.4 Příprava kaučukových směsí	20
2.1.5 Základní vlastnosti kaučuků	22
2.1.6 Teplota skelného přechodu	22
2.1.7 Reologické chování, viskozita	23
2.1.8 Vulkanizovatelnost	23
2.1.9 Charakteristické vlastnosti pryže	24
2.1.10 Zpracování kaučuku	25
2.2 CHEMICKÉ REAKCE PŘI ZPRACOVÁNÍ KAUČUKU	25
2.2.1 Vulkanizace	25
2.2.2 Výhody vulkanizace	27
2.2.3 Přísady do kaučuků	27
2.2.4 Vulkanizační systém	27
2.2.5 Vulkanizační činidla	27
2.2.6 Urychlovače vulkanizace	27
2.2.7 Plnivo	28
2.2.8 Antidegradační systém	28
2.2.9 Změkčovadla	28
2.2.10 Stabilizátory	29
2.3 SEPARAČNÍ PROSTŘEDKY	29
2.4 TECHNOLOGIE VSTŘIKOVÁNÍ	31
2.4.1 Průběh vstřikovacího procesu při vstřikování termoplastů	31
2.4.2 Způsoby zpracování elastomerů, vstřikování elastomerů	33

2.4.3	Průběh vstřikovacího procesu při vstřikování elastomerů	33
2.4.4	Výhody vstřikování elastomerů do forem	36
2.4.5	Nevýhody vstřikování elastomerů do forem	36
2.5	VSTŘIKOVACÍ STROJE PRO ELASTOMERY	36
2.5.1	Princip a jednotlivé části vstřikovacího stroje	36
2.5.2	Části plastikační a vstřikovací jednotky	37
2.5.3	Vstřikovací tryska	38
2.5.4	Šnek	38
2.5.5	Vstřikovací komora	39
2.5.6	Uzavírací jednotka	39
2.6	VSTŘIKOVACÍ STROJE PRO ELASTOMERY	39
2.6.1	Části vstřikovací formy	40
2.6.2	Dutina formy	40
2.6.3	Vtoková soustava	40
2.6.4	Regulace průtoku taveniny vtokovými kanály	40
2.6.5	Odvzdušnění forem, vakuum	41
2.6.6	Vytápění formy	41
2.6.7	Vedení a čepy	41
3.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	42
3.1	PŘÍPRAVA EXPERIMENTU	42
3.1.1	Konstrukce postřikové jednotky	43
3.1.2	Vozík jader a vozík postřikové jednotky	43
3.1.3	Zásady konstrukce vozíku postřikové jednotky	45
3.1.4	Instalace vstřikovacích trysek	47
3.1.5	Míjení vozíku jader a vozíku postřikové jednotky	47
3.1.6	Montáž postřikové jednotky	49
3.1.7	Vrtání otvorů pro uchycení držáků trysek, držáky trysek	49
3.1.8	Trysky	49
3.1.9	Rozvod vzduchu a separátoru mezi tryskami	51
3.1.10	Zásobník separátoru, stojan pro zásobník, parametry separátoru	51
3.1.11	Pneumatické ventily	53

3.1.12	Deska s pneumatickými rozvaděči	54
3.1.13	Technologická část průběhu experimentu. Zkouška zařízení	57
3.1.14	Zkouška průchodnosti trysek	57
3.1.15	Zkouška mikroregulátoru tlaku	58
3.2	PRŮBĚH EXPERIMENTU - MĚŘENÍ DOBY CYKLU PŘI RUČNÍ APLIKACI SEPARÁTORU A PŘI APLIKACI SEPARÁTORU POMOCÍ POSTŘIKOVÉ JEDNOTKY	59
3.2.1	Průběh experimentu - Měření doby cyklu při manuální aplikaci separátoru	59
3.2.2	Průběh experimentu – Měření doby cyklu při aplikaci separátoru pomocí postřikové jednotky	60
3.2.3	Tabulkové a grafické výstupy	61
3.2.4	Výsledek experimentu, rozbor výsledků	62
3.3	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	63
3.3.1	Údaje o dosavadní výrobě	63
3.3.2	Předpokládané údaje o budoucí výrobě při použití postřikové jednotky	64
3.3.3	Úspora při výrobě odpadní hadice 32276 pomocí postřikové jednotky (U)	65
3.3.4	Úspora vlivem nižší spotřeby separátoru	65
3.3.5	Náklady na postřikovou jednotku (X)	66
4	ZÁVĚR	67

Použité zkratky a symboly

Obecné značky

E	modul pružnosti	[MPa]
σ	napětí v tahu	[MPa]
ε	poměrné prodloužení	[-]
R	smluvní napětí	[N.mm ⁻²]
T _g	teplota skelného přechodu	[°C]
T _m	teplota tání (semikrystalické plasty)	[°C]
T _f	teplota tání (amorfní plasty)	[°C]
ρ	hustota	[kg.m ⁻³]
m	hmotnost	[kg]
pH	kyselost (vodíkový exponent)	[-]
t _c	doba cyklu	[s]
X	celkové náklady na výrobu postřikové jednotky	[Kč]
U	úspora fixních nákladů vzniklá zvýšením počtu vyrobených ks za stejnou dobu produkce	[Kč]
S	roční hodinová produkce odpadní hadice 32276	[hod]
Z	roční zvýšení produktivity	[%]
E	náklady pro stroj	[Kč/hod]
P	náklady na přímou práci na stroji	[Kč/hod]
N	Provozní režie	[Kč/hod]

Chemické značky, zkratky polymerů

C	uhlík
Si	křemík
S	síra
N	dusík
H	vodík
CH ₄	metan
PS	polystyren
ABS	akrylonitril/butadien/styren
PC	polykarbonát
PE	polyethylen
PP	polypropylen
PA	polyamid
PA66	polyamid 66 (polyhexamethylenadipamid)
PMMA	polymethylmetakrylát
PF	fenolformaldehydová pryskyřice
NR	přírodní kaučuk
SBR	styrenbutadienový kaučuk
EPDM	ethylenpropylenový kaučuk

1. Úvod

Plasty provázejí člověka po celý život. Od kojenecké lahve až po urnu jako místo posledního odpočinku. Během více než stoleté historie se plasty zbavily pověsti levné náhražky kovů a povýšily na moderní technologicky vyspělé materiály, bez nichž si současný život nelze představit. Komponenty z pryže a plastických hmot jsou používány v mnoha produktech a výrobky z plastů nacházejí stále širší uplatnění z důvodu jejich vysoké flexibility a nízkých výrobních nákladů. Používají se např. v automobilovém průmyslu jako různá těsnění nebo prostředky pro zlepšení ergonomie a hmatových vjemů nebo např. v medicíně (umělé chlopně apod.).

K rozšíření výroby polymerů dochází hlavně proto, že jimi lze nahradit klasické materiály, zejména dražší kovy.

Navíc výroba polymerů bývá plně automatizována, čímž se šetří náklady na pracovní sílu. Značnou výhodou je nízké procento materiálového odpadu, vznikajícího při výrobě. Ten je navíc možno opětovně zpracovat, v případě že se jedná o termoplasty.

Dominantní zpracovatelskou technologií polymerů je vstřikování. Tato technologie má mnoho výhod. Například při pečlivém navržení formy není nutné další opracování hotového výstřiku. Další výhodou je možnost automatizace celého vstřikovacího procesu.

Specifickou skupinu technických materiálů tvoří elastomery. Jsou to elastické, houževnaté látky, odolné proti korozi a proti chemickým činidlům. Mají nepatrnou hmotnost ve srovnání s kovy.

Nevýhodou neztvulkanizovaných elastomerů je vysoká závislost všech vlastností elastomerů na teplotě. Jsou náchylné k tečení, mají nízkou tepelnou vodivost a vyšší tepelnou roztažnost ve srovnání s kovy.

Proto jsou vlastnosti elastomerů cíleně ovlivňovány aditivami a plnivami tak, aby se získala kaučuková směs, jejíž základní složkou je kaučuk. Kaučuková směs vznikne smícháním kaučuku a přísad, umožňujících jeho vulkanizaci.

Vulkanizaci objevil v roce 1839 Charles Goodyear. Teprve tehdy se pryž stala důležitým technickým materiálem. Proces vulkanizace dává pryži vlastnosti jako jsou nezávislost mechanických vlastností na teplotě, pružnost, odolnost proti vlhkosti a odolnost proti povětrnostním vlivům (podrobněji viz. odst. 2.2.2). V roce 1946

začala průmyslová produkce radiálních pneumatik s následným vývojem na výrobu bezdušových pneumatik (1950). Vývoj v oblasti elastomerů dále pokračuje tak, že v dnešní době se elastomery uplatňují v celém průmyslovém spektru jako komponenty elektrospotřebičů, v automobilovém průmyslu nebo třeba ve zdravotnictví (silikonové implantáty, aj.). [11]

1.1 Cíl práce

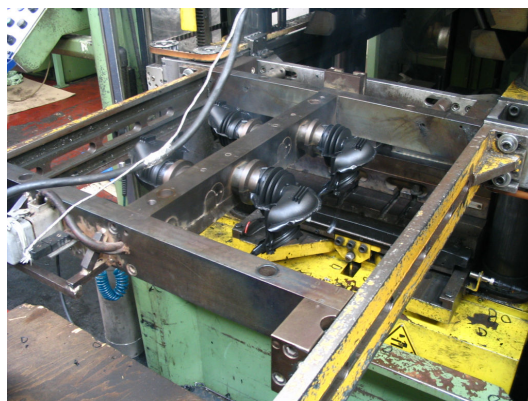
Kaučuky se zpracovávají běžně používanými technologiemi, tzn. vstřikováním nebo vytlačováním a lisováním (viz. odst. 2.4.2). Při vstřikování pryže se používají různé způsoby extrakce hotových výrobků. V případě výrobku s interním označením 32276 (odpadní hadice) se používá manuální extrakce. Aby výrobky nebo jejich části při vyjímání z formy neulpívaly v jejích dutinách, postříkují se dutiny formy separačním prostředkem. Kritické místo na výrobku, kde při nerovnoměrné aplikaci separátoru může docházet k zatrhávání je chlopeň ve spodní části hadice (viz. obr. 1.1). Ve formě je tato část tzv. slepou kapsou, která i přes úkos způsobuje velkou sílu nutnou pro vytažení výrobku z formy, čímž dochází k zatržení výrobku v označené části. Aplikaci separátoru provádí obsluha lisu před začátkem vstřikovacího cyklu. Má to však nevýhody:

- nebezpečí zranění operátora vlivem obtížné dosažitelnosti dutin formy (hrozí popálení operátora o horká jádra),
- nerovnoměrná aplikace separátoru (vlivem nerovnoměrné aplikace separátoru dochází v kritickém místě při vyjímání z formy k zatrhávání výrobku),
- prodloužení výrobního cyklu,
- vyšší spotřeba separátoru.



Místo aplikace
separátoru

Kritické místo
(slepá kapsa)



Obr.1.1: Odpadní hadice 32276 (vlevo)

Obr.1.2: Vozík s jádry a hotovými výrobky
těsně před extrakcí (vpravo)

Návrh postřikové jednotky, která bude během manuální extrakce výrobků z jader formy operátorem aplikovat separační prostředek do dutin formy a ověření funkce v provozu je předmětem této práce (viz. odst. 3.2).

2. Teoretická část

V této kapitole je popsána výroba polymerů, způsob jejich přípravy a zpracovatelské vlastnosti. Rovněž je popsán způsob zpracování jak termoplastů, tak elastomerů.

2.1 Polymery

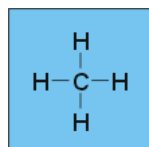
Polymery jsou makromolekulární látky přírodní i syntetické (rozdělení viz. tab. 2.1), bez ohledu na typ polyreakce, kterou byly připraveny (viz. odst. 2.1.1). Polymery vznikají spojováním monomerů. Polymer + aditivum = plast. Plasty jsou materiály, jejichž podstatou jsou makromolekulární látky. Lze je tvářet buď teplem nebo tlakem. Za makromolekulární látku se považuje látka o molekulovém hmotnostním řádu vyšším než 10^4 g.mol^{-1} .

Jsou to organické látky a připravují se synteticky. Syntetické organické sloučeniny jsou připravovány z látek, nacházejících se v přírodě. Nejčastěji z ropy. Organické sloučeniny obsahují řetězce uhlíkových atomů, ve kterých jeden či více atomů uhlíku tvoří vazby s atomy jiných prvků. Základním stavebním prvkem organických sloučenin je uhlík (C). Důležitá vlastnost atomů uhlíku je schopnost vytvoření chemické vazby navzájem mezi sebou, ale i s jinými prvky (Si, S, N).

Nejčastěji se v organických sloučeninách tvoří vazby C a H. Vazby mezi atomy uhlíku a ostatních prvků se vyznačují vysokou pevností a sled uhlíkových atomů v organických sloučeninách se nazývá uhlíkový řetězec.

Makromolekulární látky se připravují polyreakcemi. Polymer tedy vzniká opakovanou chemickou reakcí z nízkomolekulárních sloučenin, označovaných jako monomer.

Aby byl umožněn průběh polymerace, musí mít výchozí monomer vhodné chemické složení. Vznik polymeru z monomeru umožňují pouze takové sloučeniny, které mají v molekule alespoň dvě funkční skupiny schopné reagovat s dalšími molekulami. Tehdy je umožněn průběh polyreakce. [1]



Obr.2.1: Vznik vazby mezi uhlíkem a vodíkem (CH_4 – metan) [3]

2.1.1 Polymerace, polykondenzace, polyadice

Základní polyreakce jsou polymerace, polykondenzace, polyadice.

Při **polymeraci** (opakující se chemická reakce) se molekuly monomeru s dvojnou vazbou mezi atomy uhlíku spojují řetězovým mechanismem v polymer. Vznikající polymer je složen z molekul o stejné hmotnosti, jakou měl výchozí monomer. Během polymerace nevznikají žádné vedlejší produkty (neodštěpuje se voda, ani jiná jednoduchá látka). Polymerace je charakteristická vysokou rychlostí vzniku makromolekuly. K jejímu vzniku stačí zlomek sekundy. Velikost makromolekul u běžných polymerů není konstantní, protože obsahují makromolekuly s různým počtem monomerních jednotek – s různým polymerizačním stupněm.

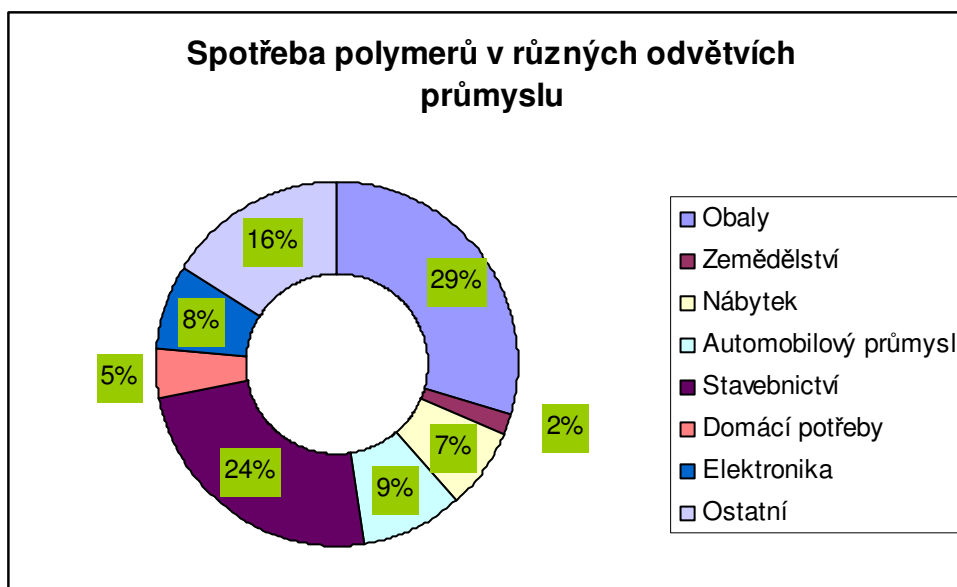
Polykondenzace je polyreakce, při které reagují dva stejné nebo různé monomery. Vznik makromolekuly je spojen se vznikem vedlejších nízkomolekulárních produktů (např. vody nebo čpavku). Je to velmi pomalá reakce. Je možné ji kdykoliv přerušit a zase rozběhnout. Je typická při výrobě reaktoplastů.

Polyadice se podobá polykondenzaci s rozdílem, že při ní nevzniká nízkomolekulární látka jako vedlejší produkt. Produktem polyadice jsou polyuretany.

[1]

2.1.2 Dělení plastů, vlastnosti

Výroba polymerních materiálů má dnes v průmyslově rozvinutých zemích vzrůstající tendenci. Důvodem je nižší hmotnost a vysoká odolnost plastů vůči různým vlivům (viz. odst. 1). Světová produkce polymerů činí 185 mil. tun ročně, přičemž základní surovinou pro výrobu je ropa (viz. odst. 2.1). Nejvíce plastových výrobků je z PE a PP. Spotřebu plastů v různých odvětvích průmyslu ukazuje obr. 2.2: [22]



Obr. 2.2: Světová spotřeba polymerů [23]

Plasty mají poměrně nízké moduly pružnosti (viz. tab 2.3), jsou pevné a lehké. Jejich vlastnosti velmi závisí na teplotě. Dobře se tvarují, jsou odolné proti korozi a mají nízký koeficient tření.

Modul pružnosti je definován jako poměr síly působící kolmo na jednotku plochy k deformaci, kterou tato síla vyvolá v oblasti malých deformací.

Pro jeho výpočet platí Hookův zákon:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \text{ [MPa]}, \text{ kde} \quad (1)$$

E – modul pružnosti [MPa]

σ - napětí v tahu [MPa]

ε - poměrné prodloužení [-]

Hookův zákon nelze použít u pryže, protože zde není lineární závislost mezi napětím a poměrným prodloužením (viz. obr. 2.4).

Rozdělení polymerů do podskupin dle různých hledisek uvádí následující tabulka.

Tabulka 2.1: Dělení polymerů dle různých hledisek [2]

Nadmolekulární struktura (morfologie)	Amorfní	PS, PMMA, PVC
	Semikrystalické	PE, PP, PTFE
Složení a teplotní chování	Termoplasty	PS, PMMA, PC
	Reaktoplasty	PF
	Elastomery	NR, SBR, EPDM
Způsob výroby	Polymerizáty	PE, PP, PS
	Polykondenzáty	PC, PA66
	Polyadukty	EP, UP
Polarita	Polární	PA
	Nepolární	PE, PS, PTFE

Pro tuto práci je důležité hledisko dělení plastů dle chování za teploty.

Termoplasty jsou látky, které zahříváním přecházejí do plastického stavu. Po přejití do tohoto stavu dojde k tváření, např. vyplnění dutiny formy, a k následnému ztuhnutí. Veškeré změny v termoplastech, ke kterým dojde při zahřívání jsou pouze fyzikálního charakteru. Nemění se jejich struktura, ani chemické složení. Do tuhého stavu přejdou ochlazením pod teplotu tání T_m (semikrystalické plasty), resp. T_f (amorfní plasty). Proces zahřívání lze teoreticky do nekonečna opakovat. Rychlost degradace materiálu stoupá s teplotou. Jedná se např. o materiály PS (polystyrén), PP (polypropylén), PA (polyamid).

Reaktoplasty jsou nízkomolekulární sloučeniny. Při zahřátí dojde k měknutí a je možné tvářet. Tváření je možné pouze po omezenou dobu, protože zahřátím se rozběhne polyreakce, jejímž výsledkem je prostorově zesíťovaná struktura. Tento jev se nazývá **vytvrzování**. Získaný tvar je dále netavitelný. Vytvrzenou hmotu nelze roztavit (dalším zahříváním materiál degraduje), ani rozpustit v rozpouštědlech a lze ji považovat za makromolekulu, protože jednotlivé úseky makromolekul jsou hustě propojeny chemickými vazbami. Odpad vznikající při výrobě reaktoplastů je znovu nepracovatelný, narozdíl od termoplastů.

Elastomery jsou polymerní materiály, které v první fázi zahřívání měknou a lze je tvářet po omezenou dobu. Během dalšího zahřívání a působení tlaku dochází k vulkanizaci (zafixování tvaru makromolekul působením tepla a síry). Proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat pouze jednou. U elastomerů na bázi termoplastů lze proces měknutí a tuhnutí teoreticky vícekrát opakovat (viz. odst. 2.1.3). [12]

2.1.3 Elastomery, kaučuky a pryže

Ve svém makromolekulárním řetězci mají reaktivní místa – dvojné vazby, umožňující chemickou síťovací reakci - vulkanizaci.

Elastomery se dělí na dvě základní skupiny:

1. elastomery na bázi kaučuku
2. elastomery termoplastické

Elastomery na bázi kaučuku jsou polymery, které se vytvářejí chemickou vazbou na molekuly účinkem vulkanizačních přísad. Díky procesu zesíťování a vzniku příčných vazeb v molekulách netají a začínají se rozkládat až při vysokých teplotách. Zesíťovaná vazba způsobuje jejich nerozpustnost v kyselinách a organických rozpouštědlech (např. toluen, aceton). [13]

Termoplastické elastomery se vytvářejí fyzikální vazbou na molekuly. Při vysokých teplotách se mohou rozpouštět. Jsou to polymerní materiály, které při pokojové teplotě mají vlastnosti elastomerů (resp. pryže), ale dají se zpracovávat jako termoplasty. Ve srovnání s pryží zde není vulkanizace, přičemž jsou zachovány stejné uživatelské vlastnosti jako u pryže.

Kaučuk je vulkanizovatelný elastomer. Pryž se vyrábí vulkanizací kaučuku a přísad. [14]

2.1.4 Příprava kaučukových směsí

Přírodní kaučuk se vyrábí zpracováním šťávy kaučukovníků. Surový kaučuk se tepelně zpracovává při teplotě asi 60 °C na tuhou a pružnou hmotu. Ta se dále zpracovává vulkanizací na pryž (odst. 2.2.1). Vulkanizace probíhá při teplotách

140 – 170 °C a tlaku okolo 0,6 MPa po dobu několika hodin. Použitím vulkanizačních činidel lze čas vulkanizace výrazně zkrátit do řádu minut (odst. 2.5.2). Vše se dohromady hněte na vyhřívaných válcích – kalandrech.

Vlastnosti samotného kaučuku nejsou pro většinu průmyslových výrobků vyhovující, proto se z nich přidavkem gumárenských přísad připravují kaučukové směsi. Kaučuková směs se obecně skládá z těchto složek:

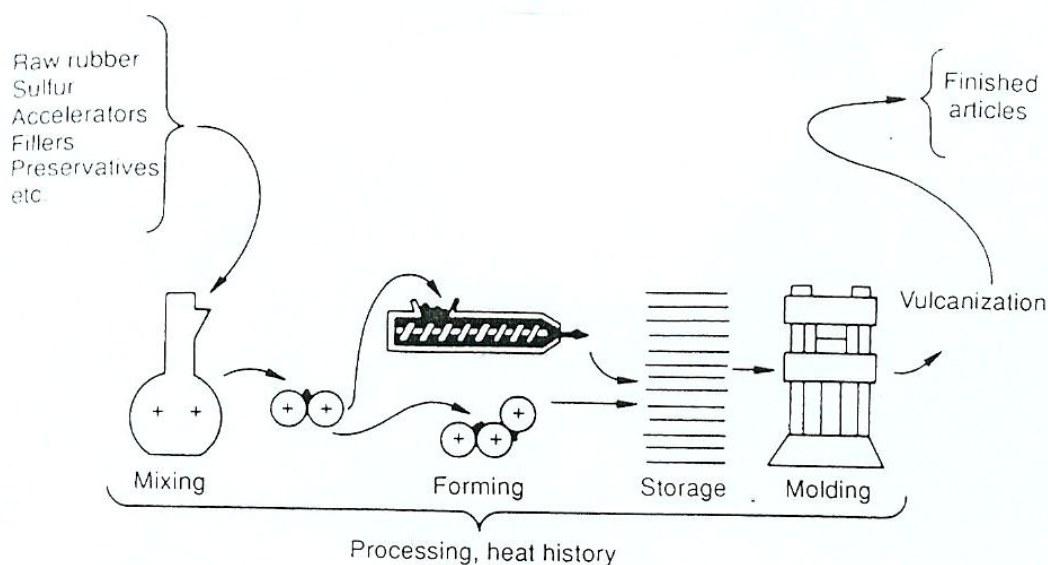
- přírodní kaučuk,
- vulkanizační systém - vulkanizační činidlo (nejčastěji síra),
- aktivátory vulkanizace (ZnO),
- urychlovače vulkanizace (akcelerátory),
- ochranný systém (antioxidanty),
- plniva (saze),
- změkčovadla,
- další přísady (např. pigmenty).

Gumárenské přísady se do kaučuku vmíchávají na hnětičích nebo na dvouválcových strojích. Míchání kaučuku probíhá při teplotě 60 – 70 °C. Při této teplotě nedochází k nežádoucímu zvyšování plasticity kaučuku během míchání a tím ani ke zhoršení kvality výsledné pryže. Jako první se přidávají aktivátory a urychlovače vulkanizace, ochranný systém, pigmenty. Tyto komponenty se souborně nazývají troškové přísady. Nakonec se vmíchá vulkanizační činidlo – síra (aby se zabránilo předčasné vulkanizaci během míchání). Výsledkem tohoto procesu je kaučuková směs. Zvulkanizovaná kaučuková směs se nazývá pryž. [4]

Hlavní výrobní fáze při zpracování kaučuku uvádí obr. 2.3. Výrobní proces zpracování kaučuku se skládá z těchto fází:

- plastikace kaučuku (jejím účelem je připravit homogenní taveninu elastomeru),
- navažování kaučuků a přísad,
- míchání kaučukových směsí,
- zpracování směsí a jejich vulkanizace.

Během těchto fází zpracování kaučuku dochází k výrazným chemickým změnám zpracovávaných surovin, zejména vzniká nezávislost mechanických vlastností na teplotě a ztrácí se lepivost (viz.odst. 1).[3]



Obr.2.3: Hlavní fáze výrobního procesu při zpracování kaučuku [7]

2.1.5 Základní vlastnosti kaučuků

Kaučuk je vulkanizovatelný elastomer. Elastomer je každý lineární polymer, převeditelný chemickou reakcí z lineárního do rovnoměrně zesíťovaného stavu (obr. 2.5 – 2.7). Stejně jako u termoplastů jsou vlastnosti elastomerů závislé zejména na teplotě. Základními vlastnostmi kaučuku jsou:

1. teplota skelného přechodu,
2. viskozita,
3. vulkanizovatelnost (schopnost kaučuku být převeden na pryž procesem vulkanizace).

2.1.6 Teplota skelného přechodu (T_g)

Vulkanizáty připravené z kaučuků jsou použitelné v běžném rozmezí teplot, při nichž pracuje člověk. Při dosažení teploty T_g nastává prudká změna vlastností vulkanizátu. Výrazně klesá elasticita, odolnost proti deformacím, chemická odolnost. Vulkanizát se stává křehkým.

Hodnota T_g bývá u kaučuků nižší než 0 °C (viz. tab. 2.2). Proto jsou vulkanizáty (pryže) připravené z kaučuků použitelné v širokém rozmezí teplot. Teplota skelného přechodu může být ovlivňována změkčovadly (viz. odst. 2.5.6). Změkčovadla snižují T_g .

Příklady teploty skelného přechodu u vybraných kaučuků uvádí tab. 2.2.

Tab. 2.2: Teploty skelného přechodu některých kaučuků [3]

<i>Kaučuk</i>	T_g [$^{\circ}\text{C}$]
Silikonový kaučuk	-120
Butadienový kaučuk	-100
Přírodní kaučuk	-80

2.1.7 Reologické chování, viskozita

Deformace u kovových materiálů jsou popsány Hookovým zákonem do meze úměrnosti, aniž by bylo nutné přihlížet k rychlosti deformace (viz. odst. 2.1.2).

U polymerů jsou vzniklé deformace závislé na době, po níž napětí působí nebo na rychlosti deformace. Při nízkých teplotách a krátkých časech deformace se polymery chovají jako elastická látka. Naopak při vysokých teplotách a delších časech deformace se chovají jako vazké látky.

Rozdíly mezi deformačním chováním elastických a vazkých látek při dlouhodobém statickém namáhání popisují reologické modely (viz. [2]). Deformační chování polymerů popisuje Newtonův zákon (viz. [2]).

Tavenina polymeru je newtonská kapalina. To znamená, že viskozita taveniny polymeru vykazuje závislost na smykové rychlosti.

Viskozita je základní tokovou charakteristikou taveniny polymeru. Určuje odpor taveniny proti tečení. Je to charakteristická vlastnost, závislá na molekulové hmotnosti kaučuku a charakterizuje jeho zpracovatelnost, tj. schopnost být mechanicky hněten na válcích nebo mechanických hnětacích strojích a být dále zpracováván - vulkanizován. Viskozita kaučuků závisí na teplotě. Se vzrůstem teploty klesá, což je důsledkem poklesu mezimolekulárních soudržných sil. Snižováním teploty naopak viskozita stoupá tím více, čím se blížíme k teplotě T_g .

Tuhost nezvulkanizovaného kaučuku je závislá na teplotě. Nezvulkanizovaný kaučuk ohřátím měkne a ochlazením tvrdne.

Viskozita zvulkanizovaného kaučuku není závislá na teplotě. [3]

2.1.8 Vulkanizovatelnost

Vulkanizací kaučuku se docílí zejména tvarová stálost při mechanickém namáhání. Hodnota T_g se vulkanizací prakticky nemění a kaučuk ztrácí rozpustnost v rozpouštědlech (pouze v nich bobtná). Bobtnavost v rozpouštědlech je tím menší,

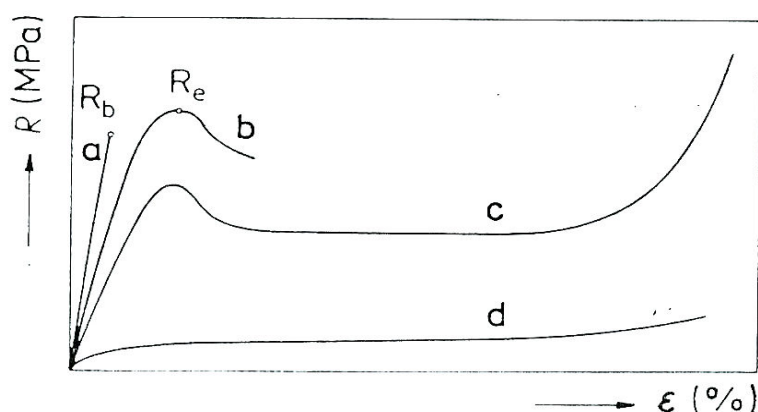
čím je kaučuk více z vulkanizován. Vulkanizací kaučuku se snižuje možnost jeho samovolné krystalizace a rozšiřuje se teplotní rozsah použitelnosti pryže. To je důležité právě tam, kde jsou pryžové součásti používány v širokém teplotním intervalu (např. silentbloky, pneumatiky – používají se v létě i v zimě). [3]

2.1.9 Charakteristické vlastnosti pryže

Základní vlastností pryže je schopnost velké elastické deformace při zatížení v tahu při poměrně malé hodnotě modulu pružnosti (viz. tab. 2.3). Pryžový výrobek při působení tahové síly je schopen dosáhnout velkého průtahu, přičemž tato deformace je do značné míry vratná (viz. obr. 2.4). To je jiné chování než např. u termoplastů. Na tahové chování pryže tedy nelze aplikovat běžné mechanické pojmy.

Tab.2.3: Mechanické hodnoty vybraných tuhých látek [15]

Materiál	Youngův modul E [MPa]	Hustota ρ [kg.m ⁻³]
Diamant	$(1,05-1,2) \cdot 10^6$	3500
Ocel	$(1,9-2,1) \cdot 10^5$	7400-8000
Mosaz + Bronz	$(1,03-1,24) \cdot 10^5$	8600-8900
Sklo (tabulové)	$7,2 \cdot 10^4$	2400-2600
Polypropylen	$(1,5-2) \cdot 10^3$	905-907
Pryž	10-100	1150-1350



Obr.2.4: Charakteristické křivky (napětí – prodloužení) plastů a pryží [2]

- a - amorfní termoplasty + křehké reaktoplasty (tvrdé a křehké),
- b - termoplasty s omezenou možností orientace makromolekul,
- c - semikrystalické termoplasty (dobrá možnost orientace makromolekul),
- d - měkké materiály (elastomery, pryže)

Další vlastnosti pryže jsou:

- velká elasticita (membrány, těsnění, silentbloky, různé dorazy apod.),
- odolnost proti opotřebení a cyklickým deformacím (využití např. u pneumatik),
- chemická odolnost (proti kyselinám a zásadám),
- nepropustnost pro plyny a vodu,
- elektroizolační vlastnosti,
- narozdíl od kaučuků je pryž nerozpustná v organických rozpouštědlech..

Uvedené vlastnosti jsou určeny koncentrací příčných vazeb a chemickou strukturou, při vulkanizaci, kdy se tvárný kaučuk mění na pryž.

2.1.10 Zpracování kaučuku

Hlavní výrobní fáze při zpracování kaučuku byly popsány v odst. 2.1.4, obr. 2.3.

2.2 Chemické reakce při zpracování kaučuku

Základní operací je plastifikace kaučuku (pojem plastifikace viz. odst. 2.4.1). Tím se docílí jeho lepší zpracovatelnost. Tento proces probíhá na hnětacích strojích a dochází při něm ke vmíchání přísad do výchozí směsi.

Dnes se většina kaučuků dodává již v přímo zpracovatelném stavu, takže není potřeba jejich plastifikace před samotným zpracováním. [3]

2.2.1 Vulkanizace (chemická síťovací reakce)

Vulkanizace je klíčovým procesem v celé gumárenské technologii. Je to energeticky a časově nejnáročnější proces při vstřikování elastomerů. Vzniká při ní výsledný produkt – vulkanizát (pryž). Výrobky z pryže jsou aplikovány v nejrůznějších oborech lidské činnosti (viz. odst. 1).

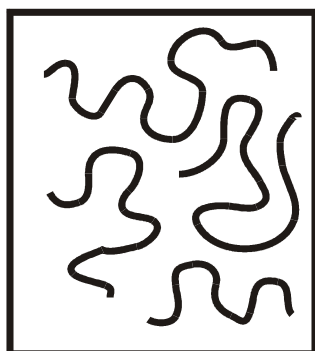
Pryžové výrobky jako jsou pneumatiky, gumové části strojů aj. nemohou být vyrobeny bez použití procesu vulkanizace. Nevulkanizovaná pryž je obecně málo pevná, po velké deformaci se nevrací do původního tvaru a může být velmi lepkavá. [6], [7]

Vulkanizace je fyzikálně chemický proces, při němž působením vulkanizačního činidla (síra, selen, telur, peroxidy,...), tepelné energie a tlaku (tlak zabraňuje vzniku nežádoucích pórů ve výrobku v důsledku vývoje plyných látek a v důsledku

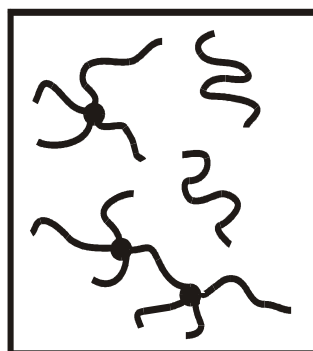
vypařování vody) dochází k strukturním změnám elastomeru. Je to proces změny směsi z tvárné na elastickou. Elastomer (kaučuk) s lineární strukturou makromolekul se mění v pryž s prostorovou strukturou makromolekul v důsledku chemické reakce, k níž dochází mezi kaučukem a ostatními složkami kaučukové směsi po zahřátí na vulkanizační teplotu a současném působení mechanické energie (viz. P3). Během doby vulkanizace se mezi lineárními řetězci molekul tvoří příčné vazby neboli můstky, které způsobí zesíťování struktury látky. Zesíťování probíhá účinkem vulkanizačních činidel. Podle použitého vulkanizačního činidla mohou být příčné vazby tvořeny jednoduchou chemickou vazbou (např. vazbou mezi atomy uhlíku jednotlivých řetězců nebo jedním ale i více atomy síry) nebo objemnými řetězci fenolformaldehydové pryskyřice.

Vlastnosti vulkanizátu jsou závislé na koncentraci příčných vazeb, na pravidelnosti jejich rozložení a na jejich stabilitě. [7]

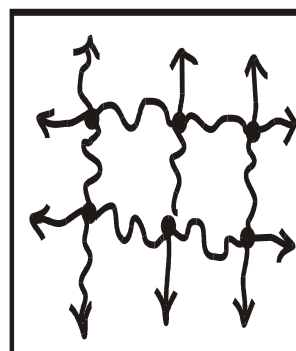
Proces vulkanizace přibližují obrázky 2.5 - 2.7.



Obr.2.5 Vysokomolekulární
kaučukovitý polymer



Obr. 2.6 Sesíťování struktur



Obr. 2.7 Zavedení příčných vazeb
pryž

Proces vulkanizace zpomalují nízké teploty a vlhkost vzduchu. [5]

2.2.2 Výhody vulkanizace

Hlavním důvodem, proč se kaučuk vulkanizuje je, že se podstatně vylepší jeho mechanické, tepelné i fyzikálně chemické vlastnosti. Z mechanických vlastností se zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost (odolnost proti trhání), odolnost proti otěru i pružnost, ale zároveň se sníží tažnost. Na rozdíl od nevulkanizovaného kaučuku, který je rozpustný v některých organických rozpouštědlech, vulkanizovaný kaučuk v nich jen bobtná.

Vulkanizovaný kaučuk je také výrazně méně citlivý ke změnám teploty a zachovává si ohebnost i tuhost ve značném teplotním rozsahu. [4]

2.2.3 Přísady do kaučuků

Aby mohla proběhnout vulkanizace, přidávají se do kaučuku vulkanizační přísady.

2.2.4 Vulkanizační systém

Je to souhrnný název pro složky, které se přidávají do kaučuku, aby po jeho zahřátí na vhodnou teplotu mohla vzniknout chemická reakce kaučuku s těmito složkami, tedy aby proběhla vulkanizace. Základním prvkem vulkanizačního systému je síra, ale používají se i další látky, které zlepšují nebo zrychlují účinnost vulkanizace (viz. odst. 2.2.5 – 2.2.10).

Jednotlivé složky vulkanizačního systému se do kaučuků přidávají tak, že jejich množství se přepočítává na určité množství kaučuku. Např. počet gramů (kilogramů) přísady na 100 gramů (kilogramů) kaučuku. Tento poměr se označuje *dsk*.

2.2.5 Vulkanizační činidla

Pro správný průběh zesíťování je nutné přidávat vulkanizační činidla. Je to základní složka vulkanizačního systému a podporuje vznik procesu vulkanizace. Jako základní vulkanizační činidlo se používá prášková síra. Obsah síry ve výrobku se pohybuje v rozmezí 1 – 3 %. Tvrdost pryže roste úměrně s množstvím síry.

2.2.6 Urychlovače vulkanizace

Používají se pro urychlení procesu vulkanizace. Snižují její dobu do řádu minut. Snižují vulkanizační teplotu a velmi podporují síťovací účinnost síry.

Účinnost urychlovačů zvyšuje **aktivátor** (aktivátor vulkanizace mj. snižuje závislost rychlosti vulkanizace na teplotě). Je to *ZnO* a malé množství kyseliny stearové. Tím se vytvoří *Stearan zinečnatý*. Vyplývá zde nutnost kontroly této směsi na přítomnost

těžkých kovů. Ty totiž působí jako tzv. *kaučukové jedy*. Jsou to zejména Cu, Mn, Cr, Fe. V případě jejich přítomnosti by se v kaučuku vytvářely různé sloučeniny, které by mohly narušovat řetězce makromolekul.

2.2.7 Plnivo

Výrazně mění vlastnosti pryže. Dodává pryži tvrdost, zvyšuje odolnost proti opotřebení a zahřívání. Způsobuje barevné zbarvení.

Jako plnivo se používají zejména saze. Ty způsobují tmavé zbarvení.

Plnivo se do kaučuku přidává v koncentraci 50 – 100 *dsk* (definice *dsk* viz. odst. 2.2.4).

2.2.8 Antidegradační systém

Aby kaučuky při jejich skladování neztrácely požadované vlastnosti (viz. obr. 2.4), jsou stabilizovány určitou přísadou chemikálií. Tyto chemikálie působí jako stabilizátory. Jejich účinkem jsou kaučuky stabilizovány proti degradaci.

Též z vulkanizovaný kaučuk je nutné chránit proti škodlivým vlivům prostředí. Proto se do kaučuků přidávají antioxidanty, antidegradanty, antiozonanty. Ty dohromady tvoří tzv. antidegradační systém.

- Antioxidanty – chrání pryž před účinkem kyslíku,
- Antiozonanty – ochrana před degradací ozonem,
- Antidegradanty – chrání výrobek po dlouhou dobu před degradací.

Účinkem antidegradačního systému je výrazně zpomalen proces stárnutí (narušení struktury) pryže.

Jako antioxidanty se používají např. látky chinolin a parafenylendiamin. Obvyklé množství je okolo 5 *dsk* [3, s.24]

2.2.9 Změkčovač

Používají se pro usnadnění plasticity a mechanického zpracování. Snižují tvrdost vulkanizátů a teplotu zesklňování použitého kaučuku. Nejčastěji to jsou minerální oleje. [3, s.24]

2.2.10 Stabilizátory

Na polymer působí během jeho zpracování a používání mnoho faktorů, na nichž závisí odolnost i celková stabilita polymeru.

Jsou to zejména kyslík, korozivní činidla (např. ozon nebo roztoky kyselin), mechanické napětí, UV – záření, vysoké teploty, povětrnostní vlivy.

Jejich vlivem probíhá v polymeru degradace v různých formách. Zejména světelná, povětrnostní a tepelná.

Použitím stabilizátorů lze těmto stavům předcházet. [3]

2.3 Separační prostředky

Při výrobě součástí z polymerů za použití formy je nutné zamezit adhezi formovaného materiálu k povrchu formy (viz. odst. 1.1, obr.1.1). K tomu se používají separační prostředky.

Nejčastěji jsou na povrch formy nanášeny nástřikem. Další způsob je např. nanášení štětcem. [6]

Separační prostředky lze rozdělit do dvou kategorií:

1. jednorázové
2. semipermanentní (pro opakované použití)

Mezi standardní jednorázové separátory se řadí vosky nebo mýdla, příp. prášky na bázi silikonů nebo prášku PTFE. Tyto látky omezují adhezi povrchu horké formy, ale jejich omezená vnitřní pevnost (koheze) způsobuje, že při vyjmutí výrobku z formy ulpívají na jeho povrchu. Proto je nutné nástřik po každém cyklu opakovat. Vlivem aplikace separátoru po každém výrobním cyklu vzrůstá potřeba častěji čistit formu v důsledku nárůstu vrstvy separátoru na jejím povrchu.

Tuto nevýhodu řeší použití semipermanentních separátorů na vodní bázi. Při jejich nástřiku na horkou formu se voda okamžitě odpaří a vznikne separační vrstva bez nutnosti opakování aplikace separátoru po každém výrobním cyklu. Nedochází k ulpívání separátoru na povrchu výrobku po jejich extrakci z formy.

Vlivem méně časté aplikace separátoru též odpadá nutnost častého čištění forem.

Podmínkou pro úspěšné použití obou druhů separátorů je nutná jejich dobrá adheze k povrchu formy, proto je nutné formu před aplikací důkladně vyčistit. [6]

Konkrétní typ separačního prostředku používaný při výrobě odpadní hadice 32276 spolu s údaji z technického listu je uveden v experimentální části, odstavec 3.1.10 (jedná se o jednorázový separátor na bázi silikonu). [8]

Výběr výrobců separačních prostředků uvádí tab. 2.1.

Tab.2.1: Někteří výrobci separačních prostředků a jejich produkty

Název separátoru	URL	Výrobce
TCE Fluid 110	http://jost-chemicals.de/english/produkte/tr_faserverbund.html	Jost Chemicals
TCE Fluid 020		
Lukopren Separátor	http://www.pzservis.cz/izol_projektanti2/lucebni/pompr.htm	Lučební závody Kolín
Loctite Frekote	http://www.loctite.cz/int_henkel/loctite_cz/index.cfm?pageid=276&layout=2	Henkel Technologies

Při aplikaci separátoru do dutin formy je nutné přesně určit množství dávky. Kdyby ho bylo moc, mohlo by docházet k vadám na výrobku, jako např. zatrhávání. V případě menšího množství by naopak separátor neplnil svůj účinek a mohlo by docházet k ulpívání částí výrobku v dutinách formy nebo na jejích jádrech (viz. odst. 3.1, obr.3.1.).

Velikost dávky separátoru je závislá na zkušenosti a citu operátora. Za ředění separátoru zodpovídá mistr. [9]

2.4 Technologie vstřikování

Nejrozšířenější způsob zpracování elastomerů je vstřikování do uzavřené formy, stejně jako u termoplastů. Proces vstřikování je používán zejména v hromadné výrobě. První vstřikovací stroje byly uvedeny do provozu ve 30. letech minulého století. Vstřikování je nejlevnější a nejpoužívanější zpracovatelská technologie pro hromadnou výrobu tvarových předmětů z plastů. [20]

U výstřiků z elastomerů je stejně jako u termoplastů dosahováno vysoké kvality a konzistence výstřiků.

Pro vstřikování elastomerů se používají principiálně stejné vstřikovací stroje jako pro vstřikování termoplastů. Výhoda vstřikování spočívá v tom, že v jedné operaci se mění polymer v hotový výrobek. V případě termoplastů je výchozí stav granulát. Při vstřikování elastomerů je výchozí hmotou pásek elastomeru.

Další výhodou je, že při pečlivém navržení formy není u hotových výrobků nutné další opracování. U vstřikování termoplastů je výhodou to, že vtokový zbytek lze opětovně zpracovat (viz. odst. 2.1.2). Vstřikovací proces je ekonomicky výhodný.

2.4.1 Průběh vstřikovacího procesu při vstřikování termoplastů

Vstřikovací proces má tyto hlavní fáze:

- **plastifikace materiálu:**

Forma se zavírá. Šnek se otáčí a dopravuje roztavenou hmotu k trysce. Tím jak je hmota dopravována před čelo šneku, probíhá plastifikace.

Pozn.: plastifikace je proces změny přechodu výchozího materiálu (granulí v případě termoplastů nebo elastomerového pásu v případě elastomerů) do viskózního stavu.

- **vstříknutí taveniny do formy (tlak 50 – 250 MPa):**

Vstřikovací jednotka se účinkem hydraulického mechanismu přisune k formě. Šnek se již neotáčí, ale posune se dopředu jako píst a vstříkne taveninu do formy.

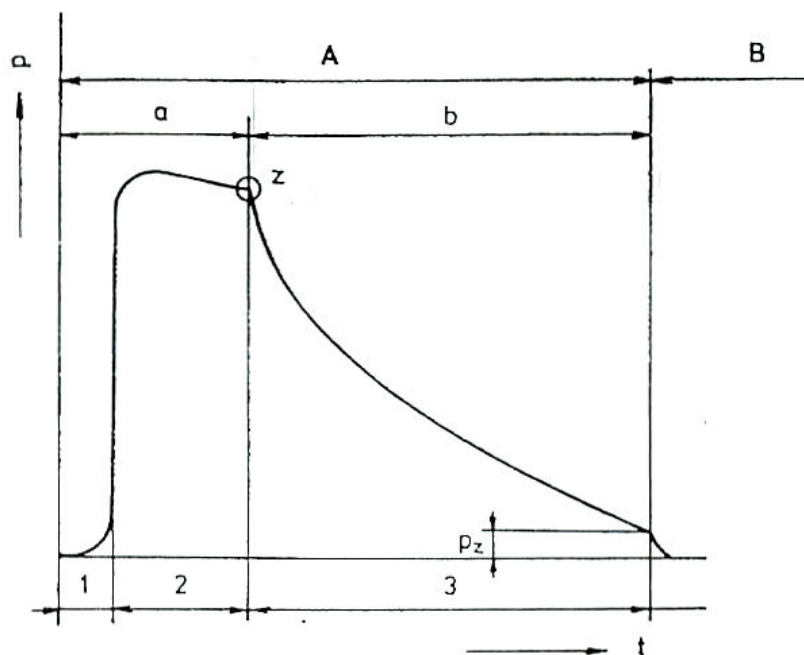
- **ukončení vstřiku - dotlačování taveniny a její chlazení ve formě:**

Po dokončení vstřikování zatuhne vtok a vstřikovací jednotka se odsune od formy. Šnek se otáčí a vrací se zpět. Je plastifikována další dávka taveniny.

- **vyjmutí výstřiku z formy:**

Jakmile výstřik zatuhne, otevře se forma. Hotový výstřik je vyhozen buď vyhazovačem nebo jiným způsobem.

Průběh tlaku v dutině formy v závislosti na čase při vstřikování termoplastů ukazuje obr. 2.8:



Obr. 2.8: Časová závislost tlaku p v dutině formy při vstřikování termoplastů

1 – vstřikování

2 – dotlačování

3 – chlazení (vulkanizace)

a – šnek se pohybuje vpřed

b – šnek se pohybuje vzad

A – zavřená forma

B – otevřená forma

z – zatuhnutí vtokového ústí

p_z – zbytkový tlak

[6]

Čas vstřikování (1) je velmi krátký, dosahuje několika sekund. Plnění formy se musí řídit tak, aby tavenina do formy nevtékala volně, ale aby forma byla plněna taveninou postupně. Je to z důvodu zamezení vzniku povrchových vad na výstřiku. Při postupném plnění formy vzniká laminární proudění. To umožňuje vznik plastického jádra, což umožňuje stlačení taveniny ve formě a dotlačování.

Účelem dotlačování (2) je nahrazení úbytku materiálu, ke kterému dochází v důsledku smršťování hmoty při chlazení ze zpracovatelské teploty na teplotu

formy. Hodnota dotlaku nesmí být příliš nízká ani příliš vysoká. Musí být zvolena optimální hodnota tak, aby nedocházelo ke vzniku vnitřního pnutí v důsledku omezené pohyblivosti makromolekul (velký dotlak) nebo naopak ke vzniku povrchových propadlin (malý dotlak).

Chlazení (3) je nejdůležitější část vstřikovacího cyklu. [6]

2.4.2 Způsoby zpracování elastomerů, vstřikování elastomerů

Je několik základních způsobů zpracování elastomerů. Jsou to:

- a) lisování (*compression molding*),
- b) vstřikování (*injection molding*),
- c) přetlačování (*transfer molding*),
- d) vyfukování (*blow molding*).

Při vstřikování elastomerů je tavenina vstřikována vysokou rychlostí a pod vysokým tlakem do uzavřené formy. Obecně rychlost vstřikování a velikost vstřikovacího tlaku jsou závislé na axiálním posunu (dráze pohybu) šneku. Po vyplnění dutin formy taveninou proběhne vulkanizace. Potom se forma znovu otevře a začíná další vstřikovací cyklus.

2.4.3 Průběh vstřikovacího procesu

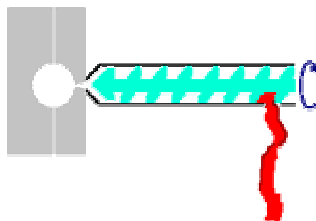
při vstřikování elastomerů (a reaktoplastů)

Vstřikování elastomerů je principiálně stejné jako vstřikování termoplastů. Rozdíl spočívá pouze v tom, že vstřikovací forma je vytápěna na vulkanizační teplotu (viz. technický list v příloze), aby mohlo dojít k zesíťování polymerních řetězců. Tj. k vulkanizaci u kaučuků nebo k vytvrzení u reaktoplastů.

[20]

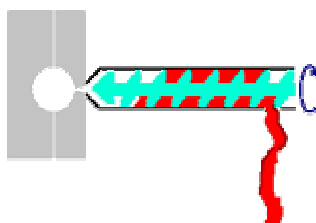
Postup při vstřikování elastomerů uvádějí obrázky níže:

1. Elastomerový pásek je nabírán účinkem axiálního posunu šneku do tavicí komory stroje.



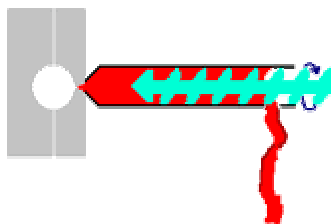
Obr. 2.10: Elastomerový pásek je nabírán šnekem do tavicí komory stroje

2. Elastomerový pásek je posouván dále před čelo šneku a jeho účinkem je hněten a rozechříván. Probíhá plastifikace, vzniká tak tavenina.



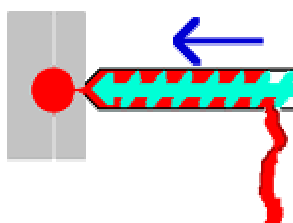
Obr. 2.11 Vznik taveniny z elastomerového pásku účinkem axiálního posunu šneku a tření o stěny tavicí komory stroje

3. Pryž se hromadí před čelem šneku. Tavenina v dostatečném množství je připravena pro vstříknutí do uzavřené formy.



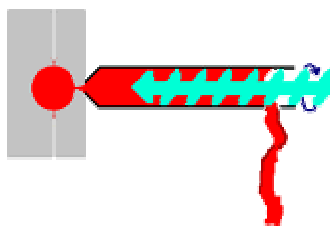
Obr. 2.12 Tavenina nahromaděná před čelem šneku

4. Tavenina je vstříknuta do formy.



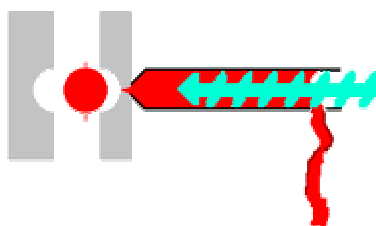
Obr. 2.13 Vstříknutí taveniny do formy

5. Když je pryž vstříknuta do horké formy, proběhne vulkanizace. Zatuhne vtok, přičemž šnek se otáčí zpět a opakuje se děj popsáný v bodě 1 (nabírání pryžového pásu účinkem axiálního posunu šneku).



Obr. 2.14 Šnek se posouvá zpět a je dále nabírán pryžový pás

6. Forma se otevře a vyjme se hotový výrobek. Bezprostředně po uzavření formy začíná další vstřikovací cyklus.



Obr. 2.15 Vyjmutí hotového výrobku, začátek dalšího vstř. cyklu

2.4.4 Výhody vstřikování elastomerů do forem

- hotové výrobky mají dobrou konzistenci,
- vysoká efektivita vstřikovacího procesu,
- rychlé doby cyklu vlivem vstříknutí horké taveniny do předehřáté formy.

2.4.5 Nevýhody vstřikování elastomerů do forem

- velmi drahé vstřikovací formy,
- občasné ucpávání vtokových kanálů.

[21]

2.5 Vstřikovací stroje pro elastomery

Největším výrobcem vstřikovacích strojů na plasty a je v současnosti firma Engel. Stroje pro vstřikování elastomerů produkují také firmy Arburg, Desma a Terenzio. Základními parametry vstřikovacího stroje jsou:

- maximální vstřikovaný objem výstřiku včetně vtokových zbytků, který lze vyrobit na 1 pracovní cyklus [cm^3],
- vstřikovací kapacita stroje (maximální hmotnost výstřiku) [g],
- plastikační kapacita stroje (maximální množství plastu nebo pryže, které lze na daném stroji převést na taveninu vyhovující kvality) [$\text{kg} \cdot \text{hod}^{-1}$],
- uzavírací síla (síla potřebná k uzavření formy) [kN],
- přidržovací síla (síla držící formu v uzavřeném stavu během vstřikování) [kN]. [6]

2.5.1 Princip a jednotlivé části vstřikovacího stroje

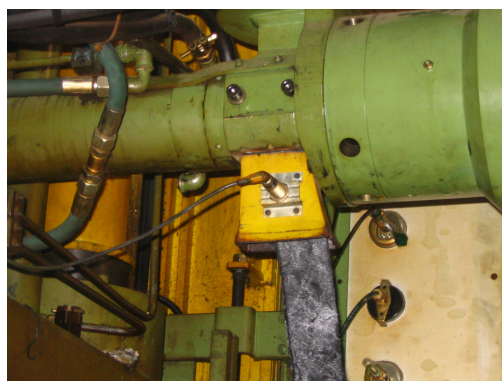
Vstřikovací stroj pro elastomery se skládá ze tří základních prvků. Je to plastikační jednotka, vstřikovací jednotka, uzavírací jednotka.

Plastikační jednotka přeměňuje pásek pryže na materiálově i teplotně homogenní taveninu o stejné viskozitě. Vstřikovací jednotka vstřikuje taveninu velkou rychlostí a pod vysokým tlakem do tvarové dutiny formy. Pohyb taveniny elastomeru v komoře je zajištěn šnekem. Vstřikovací rychlost je odvozena od axiálního posunu šneku (pístu v případě strojů Terenzio). Základním materiálem při vstřikování je buď granulát (u termoplastů) nebo pásek elastomeru (viz. odst. 2.4.3). Elastomerový

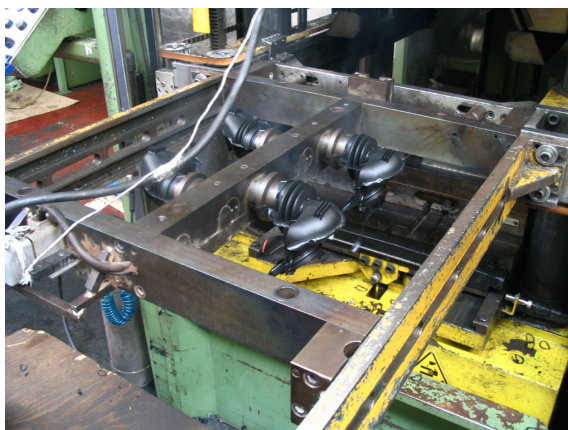
pásek je umístěn na paletě pod pracovní částí stroje (viz. obr. 2.16). Odtud je nabírán šnekem (obr. 2.17) a dopravován do tavicí komory. Zde za současného účinku tření a topení dochází k tavení pryže. Následně je tavenina vstříknuta velkou rychlostí do dutiny formy. Tu zcela zaplní a zaujme její tvar. Proběhne zesíťování struktury - vulkanizace . Potom se forma otevře a vyjmou se hotové výrobky (obr 2.18). [6]



Obr. 2.16: Paleta s páskem pryže



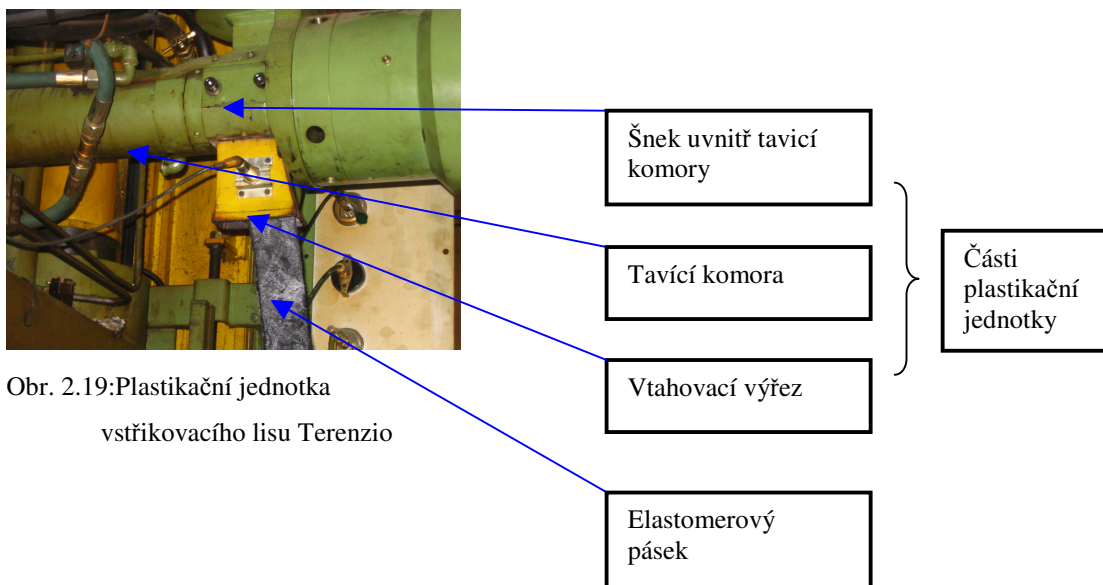
Obr. 2.17: Pásek pryže je nabírán šnekem a dopravován do tavicí komory stroje



Obr. 2.18: Otevřená forma s hotovými výrobky

2.5.2 Části plastikační a vstřikovací jednotky

Tavenina je připravována v tavicí komoře (viz. obr. 2.19) vstřikovací jednotky. Tavicí komora je zakončena vstřikovací tryskou. Spojení mezi tavicí komorou a formou zajišťuje tryska při dosednutí vstřikovací jednotky na formu.



Obr. 2.19:Plastikační jednotka
vstřikovacího lisu Terenzio

2.5.3 Vstřikovací tryska

Vstřikovací tryska má za úkol převést taveninu z tavicí komory do dutiny formy s co nejmenšími tlakovými ztrátami. Pro vstřikování elastomerů se používají otevřené trysky. Tyto trysky mají jednoduchou geometrii a nízkou hodnotu smykového namáhání, čímž je zabráněno předčasnému zesílení hmoty ve trysce.

[10]

2.5.4 Šnek

Šnek je nejdůležitější částí vstřikovacího stroje. Šnek plastifikuje, homogenizuje, odplyňuje a transportuje taveninu do vstřikovací jednotky. Šnek i komora jsou vyrobeny z jakostních tepelně zušlechťených ocelí. Při plastifikaci se šnek otáčí a jeho závity vedou elastomerový pásek do tavicí komory. Během transportu pásu elastomeru se směs ohřívá a mění na tvárnou, protože probíhá tření pryže mezi šnekem a vnitřní stěnou pouzdra šneku (viz. odst. 2.4.3). Platí, že čím je delší dráha axiálního posunu šneku, tím víc se projevuje tepelný efekt při tření. Teplota v plastifikační jednotce nesmí být příliš vysoká, aby nedošlo předčasnému ztvulkanizování taveniny ještě před vstříknutím do tvarové dutiny formy. Pro plastifikaci kaučuků se používá obyčejný šnek. Opakem obyčejného šneku je diferenciální šnek.

Rozhodující veličinou, zda jde o diferenciální nebo obyčejný šnek je *kompresní poměr* $[k_p]$.

$$k_p = \frac{\text{objem drážky šneku nad vtahovacím výř.}}{\text{objem drážky šneku na výstupu}} \quad (2)$$

Obyčejný šnek: $k_p = 1$

Diferenciální šnek: $k_p \neq 1$.

Obyčejný šnek má všude stejný průřez jádra a stejné stoupání závitu po celé délce šneku.

Typický elastomerový šnek má $k_p = 1,5/1 = 1,5$. Poměr délky k průměru u těchto šneků je $L/D = 14:1$. Při tomto poměru je doba prodlení taveniny v tavné komoře stroje zkrácena na minimum, čímž je zabráněno předčasnému zesílení hmoty. Ze stejného důvodu se používají i otevřené vstřikovací trysky. Trysky mají jednoduchou geometrii a nízké hodnoty smykového namáhání. Tím je zabráněno předčasnému zesílení hmoty. [10]

2.5.5 Vstřikovací komora

Shromažďuje směs, která přijde ze šneku a bude vstříknuta dovnitř formy účinkem tlaku vstřikovacího pístu.

2.5.6 Uzavírací jednotka

Jejím úkolem je co možná nejrychleji uzavírat a otevírat formu. Další funkcí je přidržování uzavřené formy silou větší než je síla vyvolaná tlakem taveniny na stěny dutiny formy. Uzavírací síla je zpravidla menší než přidržovací síla.

2.6 Vstřikovací formy pro elastomery

Pro vstřikování elastomerů se používají kovové, obvykle ocelové formy, stejně tak jako při vstřikování termoplastů. Mohou být jednonásobné i vícenásobné.

Forma je ocelový nástroj s dutinami, do něhož je dopravována tavenina a dostává zde tvar konečného výrobku. Forma musí umožnit přesné a rychlé vyjmutí výrobku z dutiny a musí zajistit co nejrychlejší temperaci vylisku na požadovanou teplotu podle použité technologie zpracování. Přesné vyjmutí znamená, že nedochází k zatrhávání výrobků při vyhazování výstřiků vlivem např. neexistujících úkosů ve formě.

Podle použitého stroje, pro který je forma určena se formy dělí na formy se vstřikováním do dělicí roviny a se vstřikováním kolmo na dělicí rovinu. Vstřikování

do dělicí roviny je vhodné pro vstřikování podlouhlých předmětů (rukojeti šroubováků,...), zatímco vstřikování kolmo na dělicí rovinu je vhodné pro vstřikování rotačních předmětů (nádob,...). [6]

2.6.1 Části vstřikovací formy

Části vstřikovací formy popisují odstavce 2.6.2 – 2.6.7.

2.6.2 Dutina formy

Dutina je prostor uvnitř formy. Proudí sem tavenina a dostává tu konečný tvar výrobku. Tvarová dutina formy musí přesně odpovídat požadovanému tvaru výrobku.

2.6.3 Vtoková soustava

Vtok taveniny do dutiny formy je důležité hledisko pro možnost snadného vyhození vtokového zbytku z formy, jeho odtržení od výstřiku a snadnosti jeho začištění na stěně výstřiku.

Vtoková soustava je soustava kanálů, jimiž proudí tavenina do dutiny formy. Vybrání vtokových zbytků je poslední operací obsluhy lisu před spuštěním nového vstřikovacího cyklu.

Pro vstřikování kaučuků se z důvodu úspory směsi používá studený rozvod směsi. Rozvedení taveniny do dutin je provedeno v samostatně chlazeném bloku. Ten je tepelně izolován od zbytku formy. Teplota studených vtoků je 80 ± 10 °C, aby nedošlo k předčasné vulkanizaci už ve vtokové soustavě. Tepelná izolace je deska ze skleněných vláken spojených pryskyřicí. Degraduje při teplotě 280 °C.

2.6.4 Regulace průtoku taveniny

vtokovými kanály

V systému rozvodu směsi bývají regulační šroubky umožňující škrtit průtok taveniny daným kanálem.

Regulace plnění dutin napomáhá odstranění defektů např. nespojení materiálu nebo vyskytují-li se na výrobku přetoky nebo velké blány.

2.6.5 Odvzdušnění forem, vakuum

Při konstrukci formy je nutné dbát na to, aby tvářecí dutiny byly přiměřeně odvzdušněny. Uzavření vzduchu ve formě může způsobit místní spálení materiálu (Dieselův efekt), propadliny na výstřiku, popř. jeho nedostříknutí.

Po uzavření formy dojde ve funkčním prostoru ke vzniku podtlaku, který systémem ovládacích kanálků vytváří vývěva. Z důvodu možého přisávání vzduchu z okolí jsou části formy mezi sebou těsněny silikonovým těsněním.

2.6.6 Vytápění formy

Při vstřikování je nutno formy ohřívat a jejich teplotu udržovat v určitém teplotním intervalu. Vyžaduje se, aby celá forma (především tvářecí dutiny) byla rovnoměrně vyhřáta. K tomu slouží topný systém. Je to soustava válcových topných těles (odporové topení), rozmístěných ve formě pravidelně a v optimální vzdálenosti od tvářecí dutiny. Teplota forem se reguluje odporovými teploměry nebo termočlánky. Podmínkou dobré funkce regulátoru je správné umístění čidla. Doporučuje se, aby z důvodu plynulejší regulace byla čidla umístěna v nejhmotnějším místě tvárníku nebo tvárnice.

2.6.7 Vedení a čepy

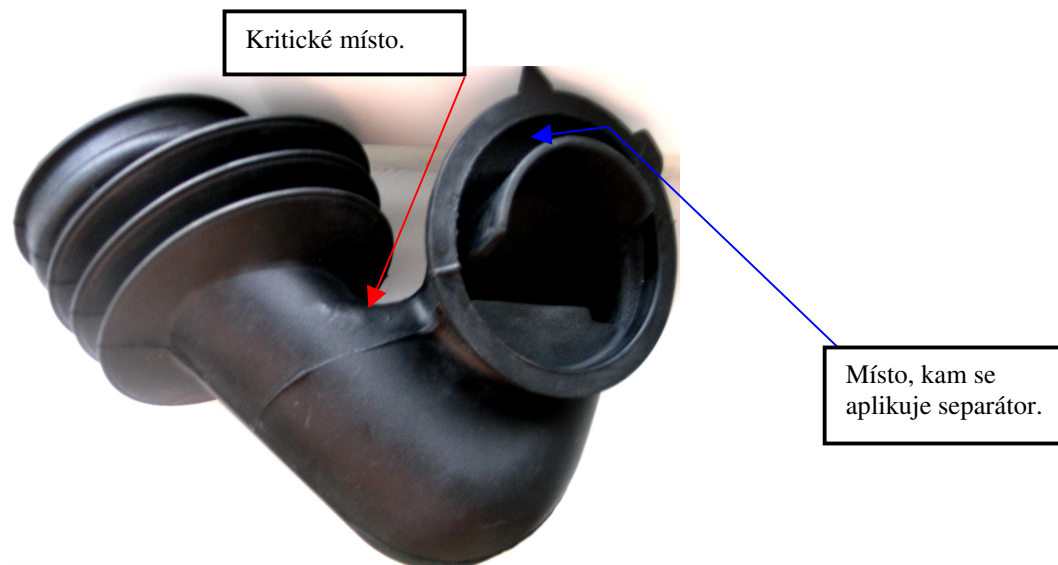
Slouží k tomu, aby součásti formy byly správně vedeny a dosedávaly do požadované polohy.

[9]

3. Experimentální část

3.1 Příprava experimentu

Úkolem postřikové jednotky je zkrácení doby výrobního cyklu. Výrazně se omezí možnost zranění operátora při aplikaci separátoru do dutin formy. Měla by být eliminována nerovnoměrná aplikace separační látky do dutin formy, ke které dochází při ruční aplikaci separátoru operátorem.



Obr.3.1: Místo aplikace separátoru (modrá čára), kritické místo (červená čára)

Zásadní přínos, plynoucí z výše uvedených skutečností spočívá ve snížení nákladovosti výroby a současně ve zvýšení produkce.

Celá práce a odzkoušení bylo provedeno v prostorech firmy CiKautxo CZ s.r.o. Odzkoušení jednotky a její zavedení do výroby bylo provedeno na hydraulickém lisu Terenzio, model VIP 500/2500.

Separální prostředek, jehož aplikace do dutin formy se tato práce týká (viz. odst. 2.3), zamezuje adhezi formovaného materiálu k povrchu formy. Nejdůležitější je, aby se separátor dostal do slepého místa - kapsy ve formě (viz. obr. 1.1, 3.1). Potom lze výstřik bez problémů vyjmout a nedochází k zatrhávání v kritickém místě (viz. obr.3.1, červená čára). V označeném místě je totiž největší adheze výstřiku k dutinám formy.

3.1.1 Konstrukce postřikové jednotky

V následujících odstavcích je popsán princip konstrukce a postup sestavení postřikové jednotky a jejích částí. Jednotlivé části jsou popsány v pořadí tak, jak byly sestavovány.

3.1.2 Vozík jader a postřikové jednotky

Jádra jsou umístěna na pohyblivém vozíku (viz. obr. 1.2). Ten je po skončení vstřikování za pomoci strojem ovládaného pohonu (elektromotor) vysunut do prostoru přístupného pro operátora tak, aby bylo možné vyjmout výrobky. Vyjetí vozíku do prostoru přístupného pro operátora zajišťují kolejnice v horní kolejnici nosníku (obr. 3.5) a strojem ovládaný pohon. Uvedená operace sestává ze dvou činností:

- vysunutí vozíku na nastavenou kótu ve vertikálním směru,
- vysunutí vozíku do prostoru přístupného pro operátora a umožnění extrakce výrobků z jader v horizontálním směru.

Obě činnosti jsou řízeny ručně operátorem.

Konstrukce vozíku postřikové jednotky rozměrově vychází z vozíku jader. Během vstřikování je tento vozík v prostoru mimo formu (obr. 3.6). K postřiku jader separátorem dochází v okamžiku, kdy je vozík jader v poloze vyjímání výstřiků (obr. 1.2 a 3.4).

Pohyb vozíku postřikové jednotky zahrnuje následující operace:

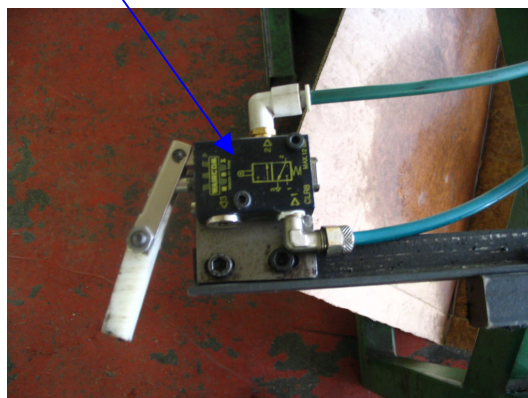
- zasunutí vozíku do prostoru nad dutiny formy (obr. 3.4). Koncovou polohu zajišťuje doraz (obr. 3.2). Ovládá operátor.
- spuštění postřiku. Postřik je spuštěn po dojetí vozíku postřikové jednotky zajištěné dorazem (obr.3.2), přičemž při dosažení koncové polohy je umožněn průchod tlakového vzduchu a kapaliny do soustavy účinkem sepnutí ventilu s kladkou (obr.3.3). Ventil se sepne dotykem o sloup v zadní části stroje (koncová poloha).

Doraz



Obr. 3.2: Doraz

Ventil s
kladkou



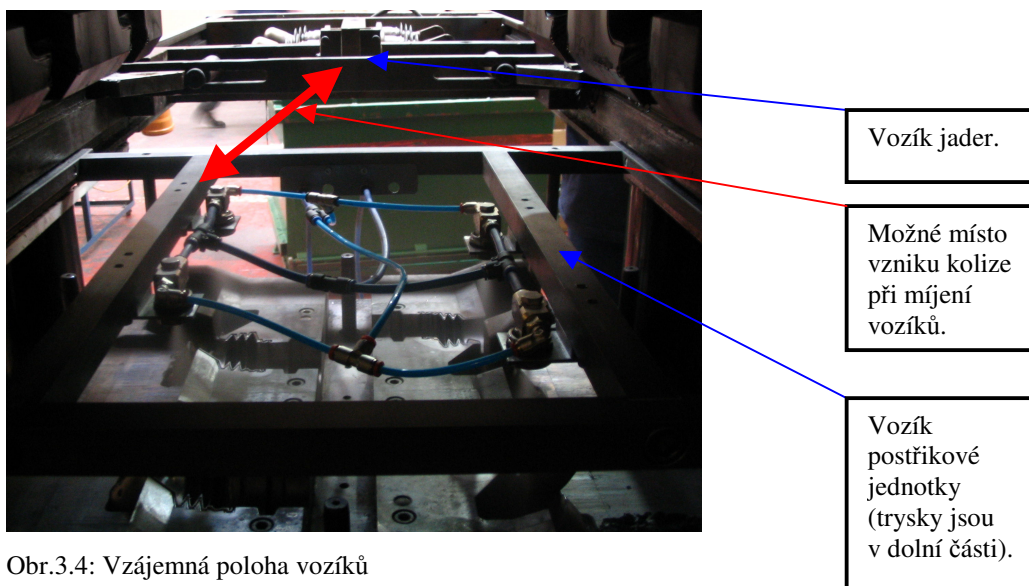
Obr. 3.3: Ventil s kladkou

3.1.3 Zásady konstrukce vozíku

postřikové jednotky

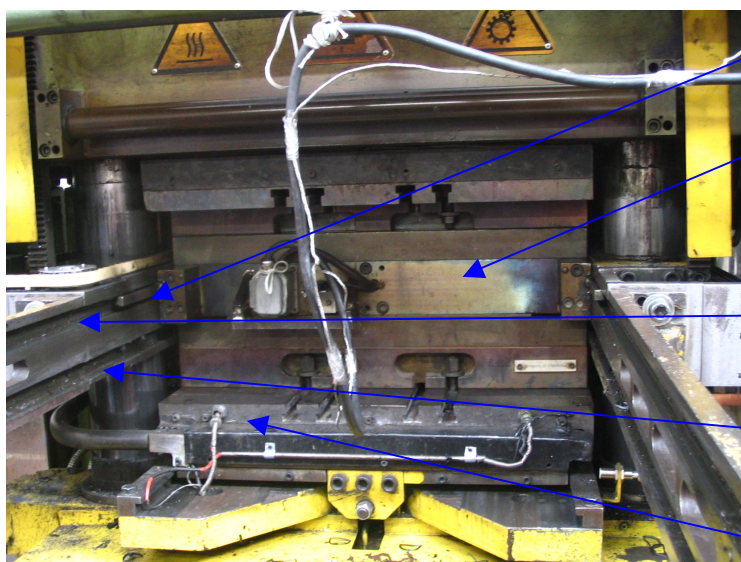
Vozík sestává ze 6 navzájem sešroubovaných ocelových tyčí (viz. příloha P1). Spojovací tyče jsou opatřeny kolečky. Ty zajišťují pohyb vozíku v kolejnicích. Jsou to 4 ložiska. Na poloze koleček nezáleží. Pouze bylo nutné je umístit co nejbližže koncům spojovacích tyčí aby bylo zajištěno optimální rozložení hmotnosti.

Bylo nutné zajistit bezkolizní míjení obou vozíků (viz. odst. 3.1.5). To bylo vyřešeno tak, že vstřikovací trysky byly umístěny do spodní části vozíku postřikové jednotky. Navíc na držáku trysek je zhotoveno osazení (obr. 3.10), aby trysky byly umístěny co nejvíce pod vozíkem postřikové jednotky (viz. odstavec 3.1.7, držák trysek). Potom nedochází ke kolizím při míjení vozíků. Blíže to ukazuje obr. 3.4. Červenou šipkou je označeno místo, kde by mohlo docházet ke kolizi, kdyby byly trysky umístěny v horní části vozíku.



Obr.3.4: Vzájemná poloha vozíků

Vozík postřikové jednotky horizontálně pojíždí v kolejnicích nosníku stroje, přičemž pro jeho pohyb je použito mechanismu, sloužícím k výměně vozíku s jádrem pomocí tahačů a ozubených řemenů (obr.3.7 a 3.8).



Nosník

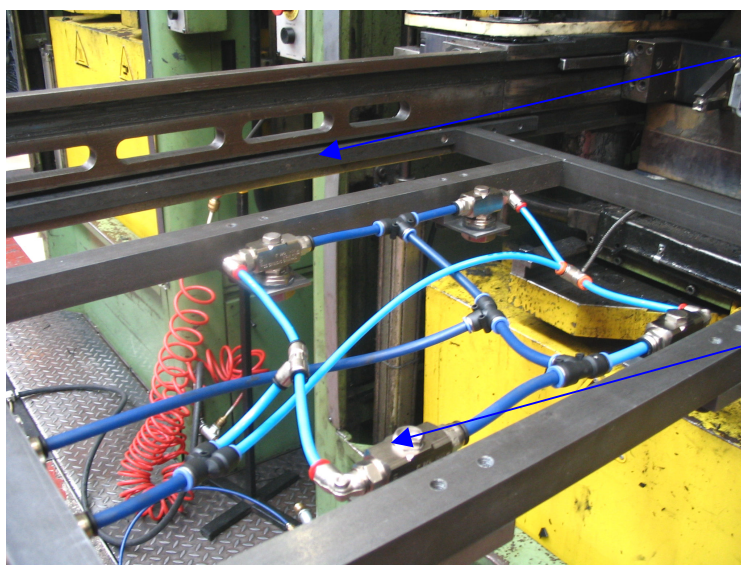
Vozík s jádrem.
Právě probíhá
vstřikovací
cyklus.

Horní kolejnice
nosníku

Spodní kolejnice
nosníku

Spodní plošina

Obr. 3.5: Horní a dolní kolejnice nosníku,
vozík s jádrem je ve fázi vstřikování



Vozík pojíždějící
ve spodní
kolejnici nosníku

Trysky stroje jsou
umístěny tak, aby
při míjení
s vozíkem jader
nedocházelo ke
kolizi (viz. obr.
3.4)

Obr. 3.6: Vozík postřikové jednotky ve spodní kolejnici nosníku,
vozík s jádrem je ve fázi vstřikování; trysky jsou umístěny
tak, aby při míjení vozíků nedocházelo ke kolizi

3.1.4 Instalace vstřikovacích trysek

Vstřikovací trysky bylo nutné umístit tak, aby mířily přesně do dutin formy a aby bylo zamezeno kolizi vozíku jader a postřikové jednotky při jejich míjení (viz. obr. 3.4).

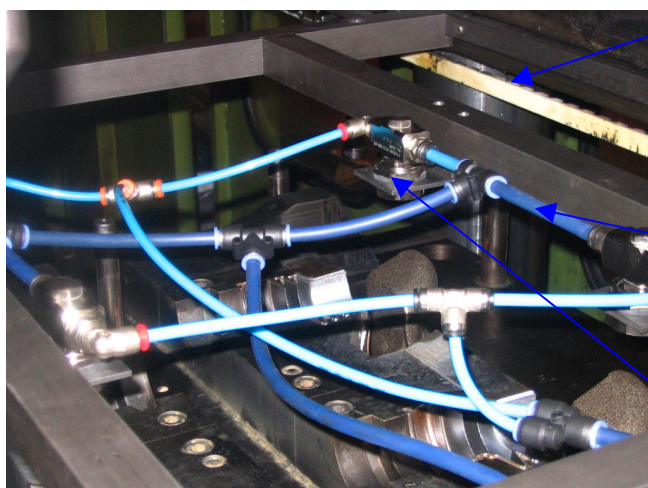
3.1.5 Míjení vozíku jader a vozíku postřikové jednotky (obr. 3.4)

K tomu dochází po ukončení vstřikovacího cyklu následovně:

- ukončí se vstřikování,
- otevře se forma,
- vozík s jádry (pojíždí v horní kolejnici) se vysune do prostoru přístupného pro operátora, aby bylo možné vyjmout výrobky (viz. obr. 3.9),
- vozík s tryskami se zasune do prostoru nad vstřikovací formu a probíhá aplikace separátoru na dutiny formy (míjení vozíků je vidět z obr. 3.4).

Díry pro uchycení držáků trysek byly vyvrtány tak, aby trysky směřovaly nad dutiny formy. Držáky byly umístěny do spodní části spojovací tyče (viz. P1).

V případě takto umístěných trysek je mezi dutinami formy a tryskami dostatek prostoru pro vytvoření rozstříku ve formě kužele. Tím je docíleno aplikace separátoru do celé dutiny formy a je zajištěno bezkolizní míjení vozíků.

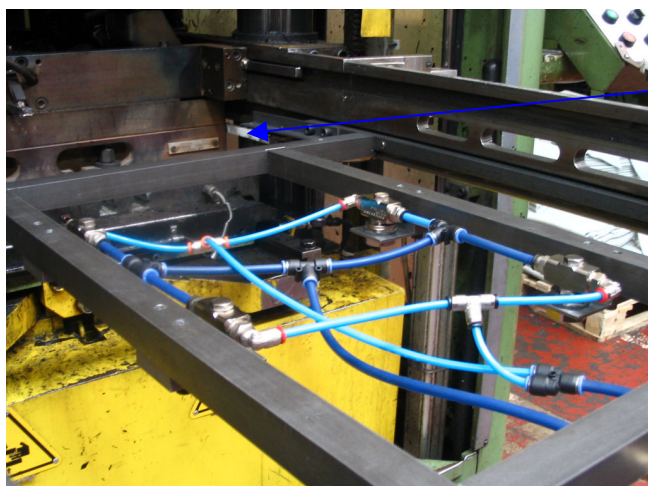


Ozubený řemen
ovládající pohyb
postřikové
jednotky (pohon
elektromotorem).

Hadička pro
rozvod vzduchu
(PTFE)

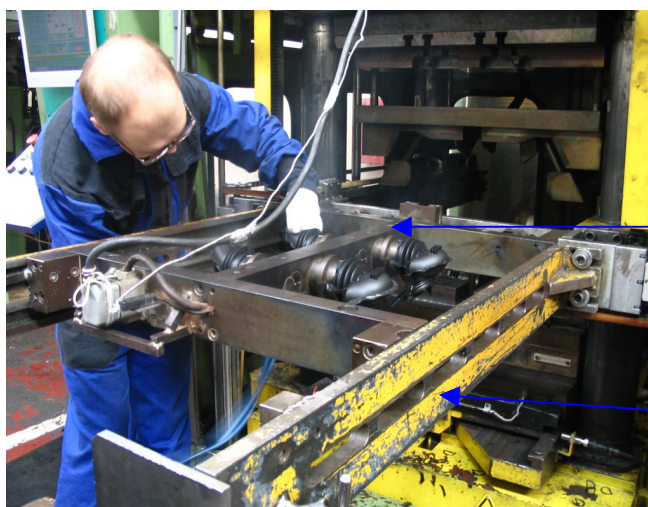
Tryska umístěná
ve spodní části
spojovací tyče.

Obr.3.7: Ozubený řemen a další komponenty postřikové jednotky



Tahač
postřikové
jednotky

Obr.3.8: Tahač postřikové jednotky



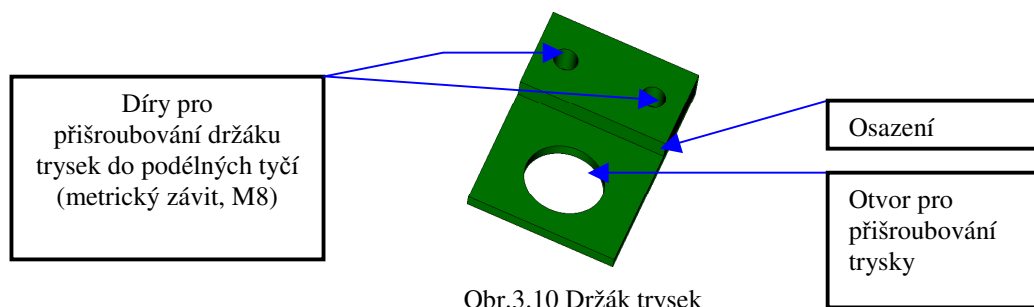
Vozík
s jádrem

Nosník

Obr.3.9: Vozík s jádrem a hotovými výrobky v poloze přístupné pro operátora.

3.1.6 Montáž postřikové jednotky

3.1.7 Vrtání otvorů pro uchycení držáků trysek, držáky trysek



Obr.3.10 Držák trysek

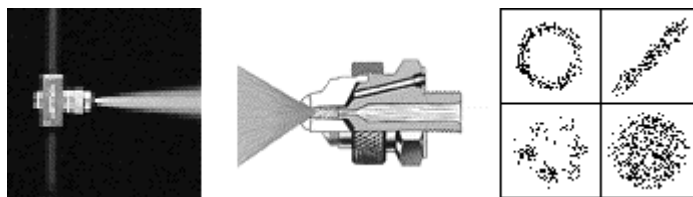
Na základě znalosti polohy dutin ve formě (viz. odst. 3.1.2) byly vyvrtány otvory pro uchycení držáků trysek na obou podélných tyčích. Na držáku trysek bylo provedeno osazení, aby při míjení vozíků nedocházelo ke kolizi trysek a tyčí horního vozíku (viz. odst. 3.1.3).

3.1.8 Trysky

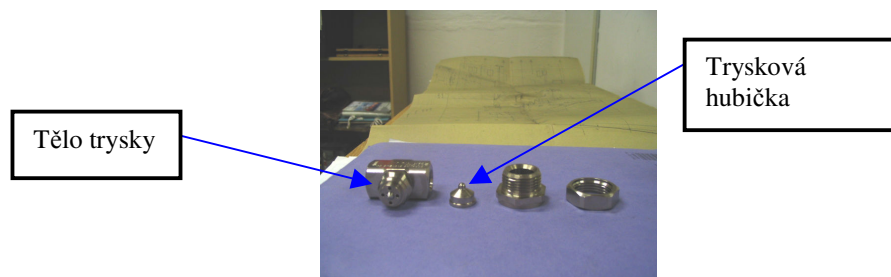
Trysky byly zajištěny od firmy Spraying Systems CZ. Jedná se o vícemédiové trysky pro rozvod kapalin pomocí tlakového vzduchu. S ohledem na to, že separační látkou musí být pokryta celá dutina formy byla zvolena tryska s nejvyšším stupněm rozprachu. Rozprašování je provedeno pomocí tlakového vzduchu (systém Air Jet, viz. obr. 3.11, P7 - Kusovník). [17]

Dle tvaru ústí trysky mohou vznikat různé tvary rozstříku: prstencový (dutý kužel), oválná nebo kruhová nárazová plocha (plný kužel), vějířovitý (plochý rozstřík). Speciální tryskovou hubičkou s více otvory lze vytvořit složený rozstřík s rozšířeným

úhlem. Tvar rozstříku vydrží pouze tak dlouho, dokud je udržována průtoková rychlost rozprašovacího vzduchu. [17]



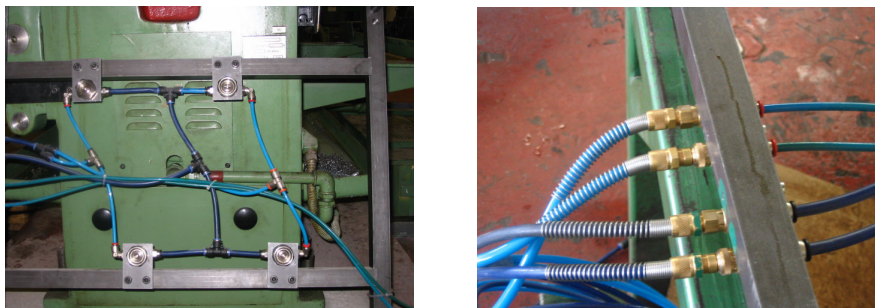
Obr. 3.11: rozstřík kapaliny pomocí tlakového vzduchu [17]



Obr.3.12: Standardní nízkokapacitní tryska, systém AirJet
(rozprašování kapaliny pomocí přidavného plynného média – vzduchu)

3.1.9 Rozvod vzduchu a separátoru mezi tryskami

S ohledem na vysoké teploty uvnitř stroje byly pro rozvod vzduchu a separačního prostředku mezi tryskami použity tepelně odolné hadičky z PTFE (viz. obr. 3.13, P7 - Kusovník).



Obr. 3.13: Rozvod vzduchu mezi tryskami

Hadičky pro rozvod vzduchu mají průměr 8 mm. Pro rozvod separátoru je to průměr 6 mm. Rozdílný průměr hadiček má praktický důvod. Slouží pro rozlišení při případných opravách zařízení tak, aby bylo jasné, kudy se přivádí vzduch a kudy kapalina.

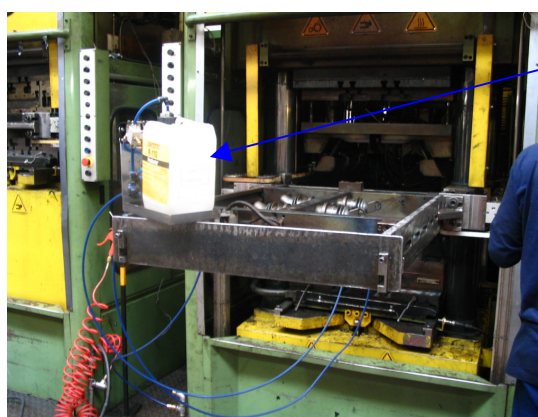
3.1.10 Zásobník separátoru,

stojan pro zásobník, parametry separátoru

Jako zásobník separátoru jsme použili plastový kanystr s víčkem o objemu 5 l. Byla přišroubována průchodka, aby bylo možné připojit hadičku pro přívod separátoru do postřikové jednotky.

Pozn.: vždy po vyprázdnění zásobníku (spotřeba cca 1 l/60 min. provozu – viz. odst. 3.3.4) je nutné jej ručně doplnit. Není zajištěno automatické plnění zásobníku.

Stojan zásobníku byl svařen z L-profilů (viz. obr. 3.14).



Zásobník
separátoru
a stojan
zásobníku

Obr. 3.14: Zásobník separátoru, stojan zásobníku

Parametry separátoru

Název: Struktol Permase 90.

Nízkoteplotní separační prostředek na vodní bázi.

Složení:

Vodní emulze reaktivních zesíťovaných prepolymérů.

Vlastnosti

Vzhled	mírně zakalená emulze
Hustota při 20 °C	1000 [kg.m ⁻³]
Hodnota pH	7
Fyzikální vlastnosti	viz. popis níže
Skladovatelnost	min. 6 měsíců při teplotách do 40 °C
Chránit před mrazem!	
Balení	dodává se v 5 l, 25 l, 200 l kanystrech

Poznámky k aplikaci separátoru

Struktol Permase 90 je semi-permanentní separační prostředek na vodní bázi. Neobsahuje organická rozpouštědla. Proto je zdraví neškodný.

Struktol Permase 90 vytvoří na povrchu formy film, který umožní vyjmutí výrobků bez zatrhávání v označeném místě (viz. obr 3.1).

Základním předpokladem pro správnou funkci separátoru je nutnost důkladného vyčištění formy před samotnou aplikací. Čištění formy může být provedeno buď mechanicky nebo použitím speciálních chemických látek k tomu určených. Jedná se např. o Struktol MC-A nebo MC-B. V případě aplikace separátoru do nevyčištěné formy mohou nastat potíže při vyjímání výrobků

Struktol Permase 90 je aplikován do horké formy přímo po základním vyčištění. To je důležité pro vznik separačního filmu v dutinách formy. Speciálně pro separátory založené na vodní bázi je důležité, aby se rozpouštědlo ihned vypařilo,

z důvodu předejití koroze formy. Minimální teplota formy pro aplikaci separátoru je 90 až 100 °C. Před vlastním procesem vstřikování musí být forma předehřáta na 130 °C. V případě výroby 32276 je teplota formy 160 °C.

Separátor může být do formy nanášen štětkou, ponorem nebo nástřikem. Používanou metodou je tedy **nástřik**. Je zde dosahováno nejlepších výsledků – hlavně **rovnoměrná tloušťka filmu**.

Obecné použití Struktol Permaseal 90 při výrobě gumových částí lze popsat jako proces se třemi kontrolními body (v případě výroby 32276 se opětovný nástřik provádí před každým zálisem):

- vstřikování,
- obnovení nástřiku,
- celková výměna nástřiku.

Počet cyklů , který může být dosažen v každém ze tří bodů, je určen zvlášť pro každou produkci. Plán produkce závisí hlavně na faktorech:

- příprava a čištění formy před aplikací separátoru,
- aplikace separátoru pomocí operátora,
- abrazivost,
- geometrii formy,
- materiál formy,
- parametry vstřikovacího cyklu.

[8]

3.1.11 Pneumatické ventily

Rozvod vzduchu a separátoru je řízen pneumatickými ventily. Tento způsob řešení má eliminovat samovolný únik kapaliny z trysek při nečinnosti (v průběhu vstřikování) zařízení a také má zajistit rovnoměrný rozstřík kapaliny ze všech trysek najednou (viz. obr. 3.11).

U pneumatických mechanismů je nositelem energie a informace stlačený vzduch. Získává se z atmosférického vzduchu. Energie (kinetická, potenciální, deformační) se využívá ke konání mechanické práce.

Použití pneumatických mechanismů má řadu výhod:

- v podniku centrální je výroba stlačeného vzduchu,
- rozvod stlačeného vzduchu je realizován hadičkami s jednoduchým připojováním,
- oproti elektrickému (náročný na orientaci zapojení) rozvodu energie není třeba dodržovat přísné bezpečnostní předpisy ani není třeba mít speciální zkoušky.

Nevýhodou je nutnost úpravy stlačeného vzduchu. Musí být zbaven vlhkosti a mechanických nečistot. [18]

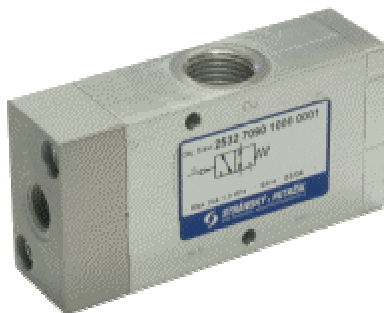
3.1.12 Deska s pneumatickými rozvaděči

Deska (obr.3.18) je osazena třemi pneumatickými rozvaděči, jedním ventilem s časovým zpožděním, jedním mikroregulátorem tlaku a jedním mechanicky (kladkou) ovládaným ventilem.

Schema zapojení: (Příloha P2)

Pneumatické rozvaděče:

Pvní slouží pro průtok separátoru, druhým proudí stlačený vzduch. Třetí umožňuje průtok kapaliny a stlačeného vzduchu.



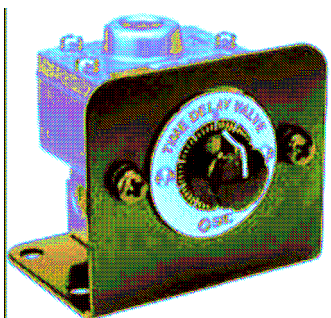
Obr.3.15: Pneumaticky ovládaný rozvaděč 3/2

Ventil s časovým zpožděním

Umožňuje nastavení časové periody pro přenos pneumatického signálu. Má v sobě vzdušník, který se plní vzduchem do doby, kdy vzduch ve vzdušníku dosáhne tlaku, který otevře výstupní ventil. Tato doba je nastavitelná otočným ovladačem v rozsahu 0 – 100 s.

Pro naše použití, kdy naopak potřebujeme nastavit regulovaně délku rozstříku separátoru, slouží výstup ventilu s časovým zpožděním jako ovládací pro ventily propouštějící obě média (separátor a poháněcí vzduch) které rozepne.

Při výrobě jsme dobu vyprazdňování vzdušníku nastavili na hodnotu $t = 5$ s. Doba plnění vzdušníku je 80 s.



Obr. 3.16: Ventil s časovým zpožděním VR2110 [12]

Mikroregulátor tlaku

Je zařazen před ventilem s časovým zpožděním a před pneumatickými rozváděči. Jeho účinkem se reguluje tlak vzduchu, procházejícího rozváděči do trysek. Potom z trysek vychází buď mlha s drobnými kapkami nebo “sprcha” (větší kapky). Pro zajištění dokonalého rozprášení separátoru v dutinách formy, potřebujeme větší tlak vzduchu nejméně 0,7 [MPa] (viz. odst. 3.1.15, tab. 3.2).



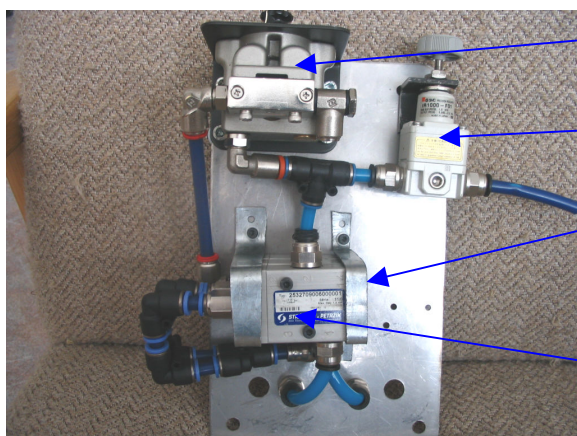
Obr.3.17: Mikroregulátor tlaku IR 1000 [12]

Mechanicky ovládaný ventil (ventil s kladkou, obr.3.19)

Je předřazen všem ventilům. Je přišroubován na dorazu vozíku. Po dojetí vozíku do polohy nad dutiny formy se opře kladka ventilu o sloup stroje a tím se aktivuje přívod vzduchu do celé soustavy ventilů.

Všechny ventily byly propojeny hadičkami podle schématu: (viz. P2).

Z důvodu kompaktnosti zařízení bylo nutné ventily umístit co nejbližší vedle sebe a co nejbližší zásobníku separátoru. Proto byla zhotovena deska z nerezového plechu (viz. obr. 3.18). Sem byly po zhotovení speciálních přidržovačů (viz. obr. 3.18) přidány pneumatické rozvaděče, ventil s časovým zpožděním a mikroregulátor tlaku.



Ventil s časovým
zpožděním

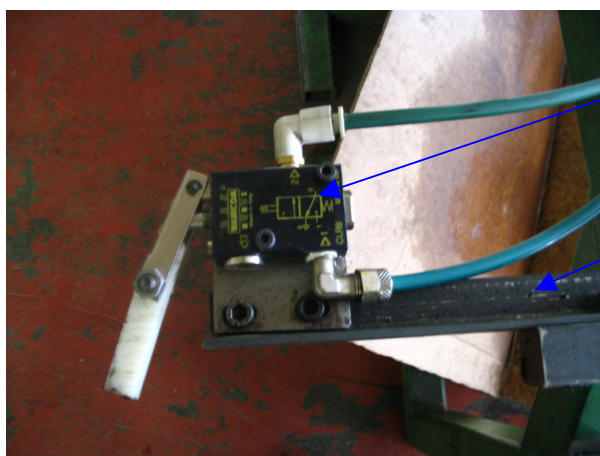
Mikroregulátor

Speciální
přidržovače
pneumatických
rozvaděčů

Pneumatické
rozvaděče

Obr.3.18: Deska s pneumatickými ventily

Ventil s kladkou je umístěn na dorazu na spojovací tyči.



Mechanicky
ovládaný ventil

Doraz na spojovací
tyči

Obr.3.19: Mechanicky ovládaný ventil

3.1.13 Technologická část experimentu, zkouška zařízení

Materiál tyčí, z nichž je vozík sestaven uvádí tabulka 3.1. Názvy tyčí viz. příloha P2.

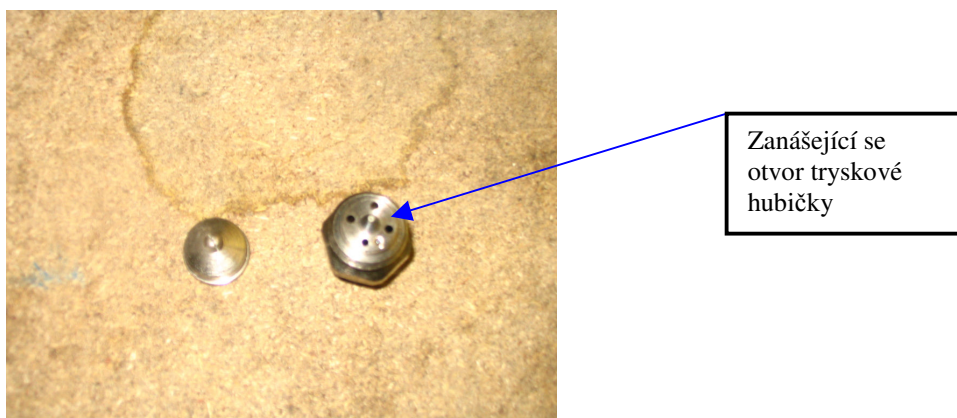
Tab.3.1: Materiál tyčí

<i>Název</i>	<i>Materiál, norma</i>	<i>Délka [mm]</i>
Příčná tyč	4HR 30 ČSN 42 6520.12 - 11 500.0	700
Podélná tyč	4HR 30 ČSN 42 6520.12 - 11 500.0	650
Spojovací tyč	4HR 20 ČSN 42 6520.12 - 11 500.0	860
Držák trysek	PLO40x14 ČSN 42 6522.12 – 11 600.0	85

V této chvíli je celé zařízení připraveno k odzkoušení. Po první zkoušce se vyskytly nedostatky. Ty musely být odstraněny, jinak by postřiková jednotka nebyla funkční. Jednotlivé závady a způsob jejich odstranění je popsán v odstavcích 3.1.14 a 3.1.15.

3.1.14 Zkouška průchodnosti trysek

Zásadní nedostatek se týkal trysek, konkrétně průměru tryskové hubičky. Byl příliš malý. To jsme poznali tak, že po skončení zkoušky v tomto otvoru zůstávaly zbytky separátoru ve formě prášku. Otvor hubičky se stal pro další provoz špatně průchodný a rozstřík z trysek byl nepravidelný.



Obr.3.20: Tryskové hubičky

Tyto negativní účinky byly vyřešeny výměnou tryskových hubiček s větším průměrem otvoru. Bylo s výhodou použito stavebnicové konstrukce trysky. Nebylo nutné kupovat celé nové trysky, pouze se koupily nové tryskové hubičky.

3.1.15 Zkouška mikroregulátoru tlaku

Úlohou mikroregulátoru tlaku (viz. obr. 3.17 a 3.18) je regulovat tlak vzduchu v celé soustavě a současně regulovat tvaru rozstříku. Podle hodnoty nastaveného tlaku mohou vzniknout různé tvary rozstříku.

Použitý mikroregulátor má označení IR 1000 (viz. P2 – Kusovník) a umožňuje regulaci průtoku vzduchu v intervalu 0,005 – 0,1 [MPa] až do maximální hodnoty 1,0 [MPa]. [19]

Aby byl nalezen optimální tvar rozstříku, musela být provedena zkouška mikroregulátoru při různých hodnotách tlaku. Ty jsme nastavovali otočným ovladačem v rozmezí přibližně 0,1 [MPa] a sledovali jsme tvar rozstříku, vycházející z trysky.

Jako zkušební médium byla použita voda.

Lze říci, že při minimálním nastaveném tlaku voda z trysek pouze vytékala. Se vzrůstající hodnotou tlaku se začal tvořit rozstřík ve tvaru kužele, přičemž velikost kapek se zmenšovala se vzrůstající hodnotou tlaku (tedy vytvořila se mlha).

Výsledky měření uvádí tabulka 3.2 na následující straně.

Tab. 3.2: Zkouška mikroregulátoru tlaku

<i>Zkušební tlak [MPa]</i>	<i>Tvar rozstříku</i>
0,1	Voda z trysek volně vytékala
0,2	
0,3	Začal se tvořit kužel. Se vzrůstající hodnotou tlaku se zmenšuje velikost kapek.
0,4	
0,5	
0,6	
0,7	Tvoří se rozstříkový kužel. Kapky jsou tak malé, že probíhá mlžení.
0,8	
0,9	
1,0	

Pro zamezení adheze výrobku k formě je nutné, aby separátor pokryl celou dutinu (viz. odst. 3.1.8). Proto byla zvolena hodnota 0,8 [MPa], kdy rozstřík je ve tvaru kužele a tím pádem je separátorem pokryta celá dutina formy.

3.2 Stručný popis experimentu -

Měření doby cyklu při ruční aplikaci separátoru

a při aplikaci separátoru pomocí postřikové jednotky

Experiment probíhal tak, že byla měřena doba cyklu jak při manuální (odst. 3.2.1) tak automatické aplikaci separátoru (odst. 3.2.2). Výsledky měření byly zaznamenány do tabulky (tab. 3.3). Rovněž jsou zobrazeny grafické výstupy (obr. 3.24).

3.2.1 Průběh experimentu –

Měření doby cyklu při manuální aplikaci separátoru

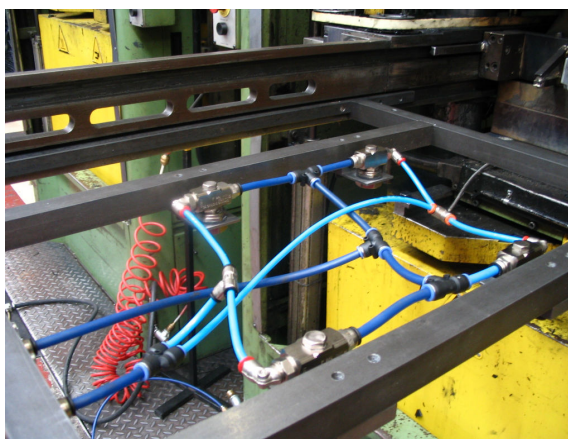
Experiment probíhal při standardních podmínkách výroby, tedy změřením doby celého cyklu při ruční aplikaci separačního prostředku. Potom byla změřena doba pouze při aplikaci separátoru. Čas se měřil stopkami a je zaokrouhlen na celé sekundy. Naměřené hodnoty byly zaznamenány do tabulky. Byla měřena doba 10 cyklů, jdoucích po sobě. Obrázek 3.21 ukazuje, jak se aplikuje separační prostředek do dutin formy. Výsledky uvádí tab. 3.3.



Obr. 3.21: Manuální aplikace separátoru

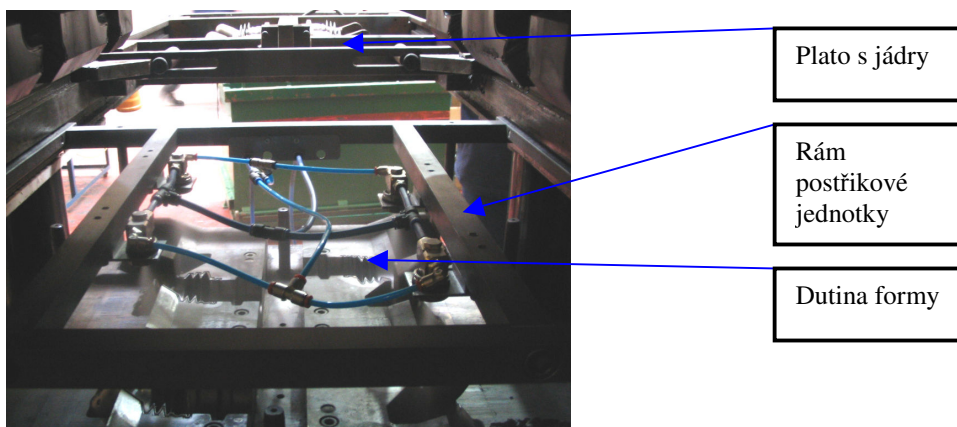
3.2.2 Měření doby cyklu při aplikaci separátoru pomocí postřikové jednotky

V další části experimentu byla do stroje nainstalována postřiková jednotka. Po jejím připojení na přívod stlačeného vzduchu byl měřen čas stejným způsobem jako je popsán v odstavci 3.2.1, nyní při provozu postřikové jednotky. Naměřené hodnoty byly opět zaznamenány do tabulky. Polohu postřikové jednotky ve fázi kdy není v provozu a probíhá vstřikování ukazuje obrázek 3.22. Výsledky viz. tab. 3.3.



Obr. 3.22: Postřiková jednotka v poloze mimo dutiny formy
(právě probíhá vstřikování)

Okamžik, kdy je postřiková jednotka aktivní ukazuje obrázek 3.23. V pozadí je vidět plato s jádry, kdy už jsou extrahované hotové výrobky.

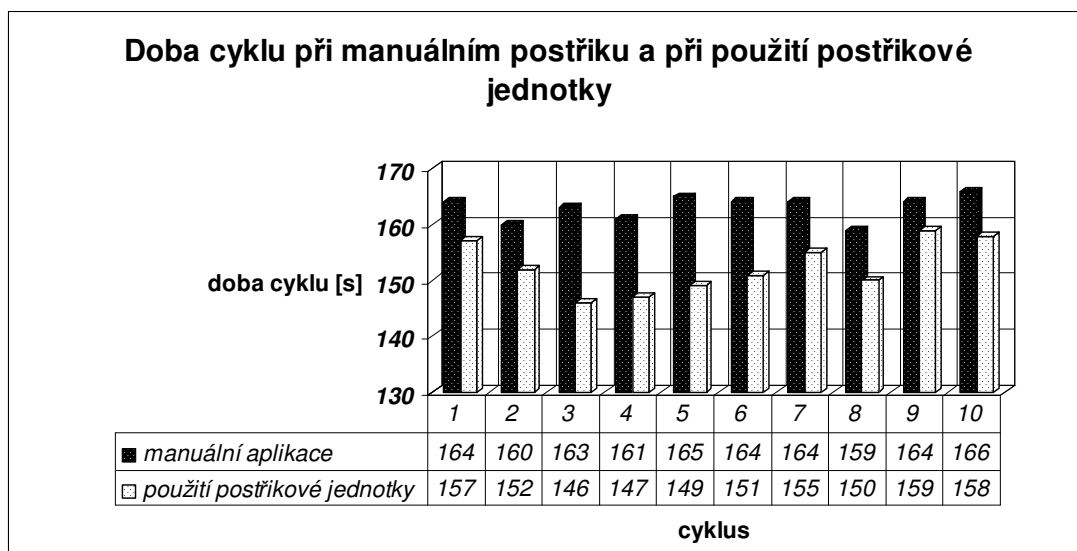


Obr.3.23: Postřiková jednotka nad dutinami formy
(právě probíhá aplikace separátoru)

3.2.3 Tabulkové a grafické výstupy

Tabulka 3.3: Doba cyklu při manuální/automatické aplikaci separátoru

<i>Tabulka naměřených hodnot časů celého cyklu při aplikaci separačního prostředku ručně a pomocí postřikové jednotky</i>		
	<i>Manuální aplikace separačního prostředku</i>	<i>Aplikace separačního prostředku pomocí postřikové jednotky</i>
<i>Cyklus $t_c[s]$</i>	<i>Doba celého cyklu $t_c[s]$</i>	<i>Doba celého cyklu $t_c[s]$</i>
1	164	157
2	160	152
3	163	146
4	161	147
5	165	149
6	164	151
7	164	155
8	159	150
9	164	159
10	166	158
<i>Průměrná doba cyklu</i>	163	153



Obr. 3.24: Porovnání doby cyklu při ruční aplikaci separačního prostředku a při jeho aplikaci použitím postřikové jednotky

3.2.4 Výsledek experimentu, rozbor výsledků

Z naměřených hodnot a grafů je zřejmé, že při aplikaci separačního prostředku použitím postřikové jednotky se výrazně snižuje čas aplikace separátoru (viz. tab.3.3). Separátor je rozstříkáván ze všech trysek najednou, zatímco při ručním postřiku bylo nutné, aby operátor vystříkal každou z dutin samostatně. Navíc rozstřík separátoru probíhá současně s operací vyjímání výrobků z jader. Proto čas potřebný pro aplikaci separátoru při ruční aplikaci je kompletně ušetřen. Tím je dosaženo výrazného zkrácení doby aplikace separátoru.

Výhoda rozstříku ze všech trysek najednou spočívá v rovnoměrnosti dávkování separátoru. To zajišťuje optimální podmínky pro extrakci výrobků zejména proto, že nemůže dojít k chybám, které by mohlo nevhodné množství separátoru způsobit např. ulpívání výrobku na jádrech formy nebo špatná soudržnost dílu.

Další výhodou je to, že pro operátora není překážkou obtížná dosažitelnost dutin formy. Obtížné natahování operátora nad dutiny formy a nebezpečí popálení (jádra mají teplotu

160 °C) nad každou z dutin nyní odpadá. Trysky jsou namířeny přesně nad dutiny formy. Operátor ovládá pouze pohyb vozíku jader a vozíku postřikové jednotky.

Vlivem snížení doby cyklu se též snižuje čas, po který horká forma zůstává otevřená. Potom i doba nežádoucího samovolného ochlazování dutin při otevřené formě je

kratší. Samovolné ochlazování dutin formy je nežádoucí proto, že může docházet k prodloužení doby vulkanizace a některé složky vulkanizačního systému (viz. odst. 2.2.4) fungují až od určitých teplot (např. urychlovače). Rovněž se ztěžuje extrakce výrobků a dochází ke značnému špinění formy.

Výrazná úspora je ve spotřebě separátoru. Projevuje se menší spotřeba vlivem přesně stanovené dávky separátoru (viz. odst. 3.3.4).

To jsou důležitá hlediska pro dnes tak časté hledání úspor ve výrobě a snižování nákladů.

3.3 Ekonomické zhodnocení

Následující údaje včetně způsobu výpočtu poskytla firma CiKautxo CZ.

3.3.1 Údaje o dosavadní výrobě:



Obr. 3.25 a 3.26: Výrobek 32276

Výrobek:	odpadní hadice pro pračku
Zákazník:	AEG
Interní označení výrobku:	32276
Roční produkce:	1910 [hod]
Celkem kusů za rok:	221560 [ks]
Celkem kusů za hodinu:	116 [ks]
Počet zálisů za hodinu:	29 (116/4)
Vstříkované množství gumy / 4dutiny:	472 [g]

Zvýšení produktivity vlivem použití postřikové jednotky bylo určeno ze snížení doby cyklu (původně 163 s, nyní 153 s, tedy $163/153 = 1,065$) na 6,5 % roční produkce. Při současné roční produkci 1910 hod (221560 ks, za 1 hod 116 ks) to znamená zvýšení produkce o 14 400 ks ročně při stejné hodinové dotaci. Tedy celkem 235960 ks při 1910 hod za rok s celkovým počtem výrobků 124 ks za 1 hodinu.

3.3.2 Předpokládané údaje o budoucí výrobě při použití postřikové jednotky

Výrobek:	odpadní hadice pro pračku
Zákazník:	AEG
Interní označení výrobku:	32276
Roční produkce:	1910 [hod]
Celkem kusů za rok:	235960 [ks]
Celkem kusů za hodinu	124 [ks]
Počet zálisů za hodinu:	31 (124/4)
Vstřikované množství pryže / 4dutiny:	472 [g]

3.3.3 Úspora při výrobě 32276 pomocí postřikové jednotky (U)

Energie pro stroj (E):	2,39 Eur/1hod = 68,11 Kč/1hod
Přímá práce na stroji (P):	4,54 Eur/1hod = 129,39 Kč/1hod
Provozní režie (N):	12,37 Eur/1hod = 352,35 Kč/1hod
Produkce 32276	
za poslední rok (S):	1910 hod
Zvýšení produktivity	
za rok (vychází ze snížení	
cyklu (163/153)) (Z):	6,5 %
Kurz Eur/CZK:	28,50.

$$U = S \cdot Z \cdot (E + P + N)$$

$$U = 1910 \cdot 0,065 \cdot (68,11 + 129,39 + 352,35) = 68263 [\text{Kč}]$$

3.3.4 Úspora vlivem nižší spotřeby separátoru

Cena neředěného separátoru (používá se při výrobě) je 2,50 Eur/5 l.

Objem 5 l vystačí při použití postřikové jednotky na 5 hodin provozu. To je přibližně 1 l/1hod.

Po vyprázdnění zásobníku je nutné jej ručně naplnit (viz. odst. 3.1.10).

Při manuálním postřiku bylo stejné množství separátoru spotřebováno během 4 hodin. To je spotřeba 1,25 l/1hod.

Porovnáním výsledků spotřeb separátoru při manuální a automatické aplikaci separátoru vychází, že se ušetří 0,25 l separátoru za 1 hodinu výroby. V případě, že 1l stojí 0,50 EUR je to úspora 0,125 EUR/1hod.

Celková roční produkce 32276 bude 1910 hod. (viz. odst. 3.3.1). Potom se jedná o úsporu 238,- Eur (6783,- Kč).

3.3.5 Náklady na postřikovou jednotku (X):

Pneumatické rozvaděče (3 ks):	celkem 5 000,- Kč
Ventil s časovým zpožděním:	z vlastních zdrojů
Ventil s kladkou:	z vlastních zdrojů
Hadičky, spojky, šrouby, tyče, držáky trysek, ostatní:	celkem 3 000,- Kč
<u>Trysky (4 ks):</u>	<u>celkem 15 000,- Kč.</u>
Náklady:	celkem 30 000,- Kč.

4. Závěr

Použití polymerů v různých odvětvích spotřebitelského průmyslu má stále vzrůstající tendenci.

V úvodu práce byla stručně popsána historie a současný stav produkce v oblasti polymerů. Je blíže popsán způsob přípravy plastů. Jsou popsány elastomery, podrobněji potom kaučuky a jejich základní zpracovatelské vlastnosti včetně procesu vulkanizace a vstřikování. Proces vstřikování je popsán jak pro termoplasty, tak pro elastomery. V souvislosti s procesem vstřikování je popsán vstřikovací stroj a vstřikovací forma. Je přiblížen význam separačních prostředků.

V souladu se vzrůstající tendencí produkce plastů a výrobků z nich je také inovace výrobního procesu při výrobě 32276 použitím postřikové jednotky, jež bylo předmětem této práce.

Byla zhotovena jednoduchá konstrukce, sloužící jako vozík postřikové jednotky (odst. 3.1.2). Dále byly pořízeny 4 trysky a pneumatické ventily, zajišťující plynulý rozstřík separátoru do dutin formy (po připojení soustavy na zdroj tlakového vzduchu).

Funkce postřikové jednotky byla ověřena ve výrobě 32276 s pozitivním výsledkem. Tím se docílilo značných přínosů ve výrobě, přičemž mezi ty hlavní patří:

- zkrácení doby výrobního cyklu ze 163 s na 153 s,
- zvýšení roční produkce ze 221560 ks na 235960 ks,
- roční úspory oproti předcházející výrobě vlivem zkrácení výrobního cyklu 68263,- Kč ,
- roční úspory ve spotřebě separátoru 6783,- Kč,
- celkové roční úspory 75046,- Kč (jako součet dvou předcházejících hodnot).

Dalším významným přínosem postřikové jednotky je výrazné omezení nebezpečí vzniku poranění operátora. Při manuální aplikaci tomu separátoru tomu tak nebylo.

Dosažené výsledky v úspoře při výrobě 32276 je nutné považovat za teoretickou hodnotu, neboť se jedná pouze o prototyp. Není prověřena případná poruchovost zařízení a s tím související eventuální vícenáklady.

To by bylo předmětem dalšího experimentu.

Seznam použité literatury:

- [1] KREBS, J.: *Teorie zpracování nekovových materiálů*. Liberec: TUL, 2001.
- [2] PLUHAR, J. a kol.: *Nauka o materiálech*. Praha: SNTL/ALFA, 1989.
- [3] DUCHÁČEK, V.: *Gumárenské suroviny a jejich zpracovávání*. Praha: VŠCHT, 1999.
- [4] KLIER, I. – ŠIMEK, J.: *Návody pro laboratorní cvičení ze zpracování kaučuku a plastů: Laboratoř oboru. I*. Praha: SNTL, 1986.
- [5] <<http://www.upce.cz/priloha/kpf-polymery>> [cit. 2006-08-22].
- [6] ŠTĚPEK, J. – ZELINGER, J. – KUTA, A.: *Technologie zpracování a vlastnosti plastů*. Praha: SNTL/ALFA, 1989.
- [7] MARK, E. M. – BURAK, E. – FREDERICK, R. E.: *The Science and Technology of RUBBER*. Burlington: Academic Press, 2005.
- [8] Technický list separátoru Struktol Permaseal®. [Interní materiály firmy CiKautxo CZ].
- [9] Školení o práci na strojích Terenzio. [Interní materiály firmy CiKautxo CZ].
- [10] Speciální technologie vstřikování. [Interní materiály firmy Arburg].
- [11] FRANTA, I.: *Elastomers and Rubber Compounding Materials: Manufacture, properties and applications*. Amsterdam: Elsevier, 1989.
- [12] <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce_plasty/obsah_plasty.htm> [cit. 2006-08-26].
- [13] <http://www.economos.com/economos_CZ/follow.asp?id=4&idSUB=78> [cit. 2006-10-03].

- [14] <http://www.vscht.cz/chem_listy/docs/full/1997_01_23-29.pdf>
[cit. 2006-10-03].
- [15] <http://sk.wikipedia.org/wiki/Youngov_modul>
[cit. 2006-10-18].
- [16] MIKULČÁK, J. a kol.: *Matematické fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: SPN, 1988.
- [17] <http://www.trysky.cz/produkty_rozstrik.php> [cit. 2006-10-28].
- [18] <<http://www.stranskyapetrzik.cz/>> [cit. 2006-10-15].
- [19] <<http://www.smcworld.com/2002/e/webcatalog/docs/air/modular/frl/frl.pdf>>
[cit. 2006-10-15].
- [20] <<http://www.elitalycea.cz/files/tep/tep24.pdf>>
[cit. 2006-11-11].
- [21] <http://www.molders.com/injection_molding.html>
[cit. 2006-11-11].
- [22] <<http://www.plastnet.cz/ArticleDetail.asp?nBranchID=0&nArtID=24&nPage=7>>
[cit. 2006-11-11].
- [23] <http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/tzn/c1/spotreba.pdf>
[cit. 2006-11-11].
- [24] <http://nb.vse.cz/~marik/publik/investice/OKEC_DH.doc>
[cit. 2006-12-03]

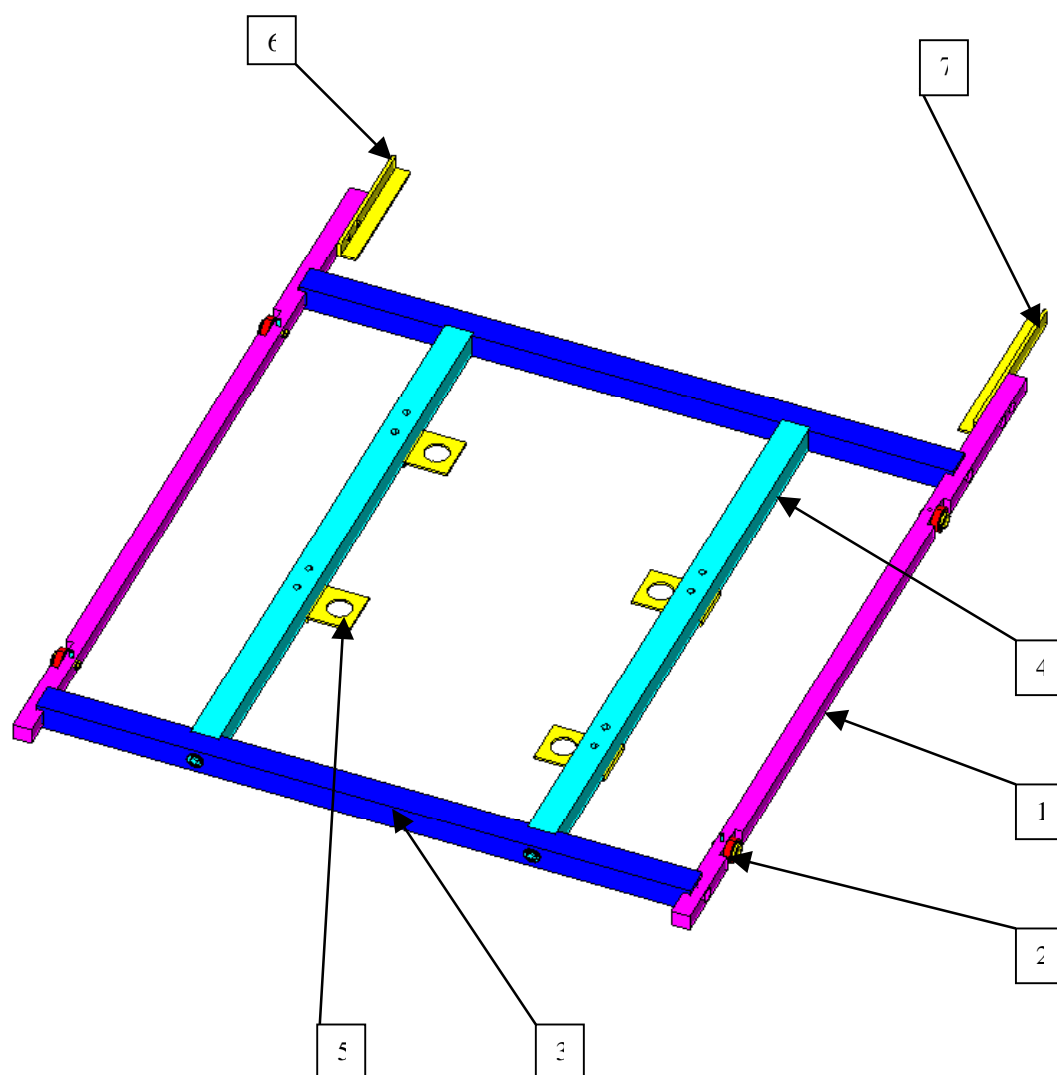
Seznam příloh

Příloha P1: Model vozíku postřikové jednotky

Příloha P2: Schema zapojení ventilů

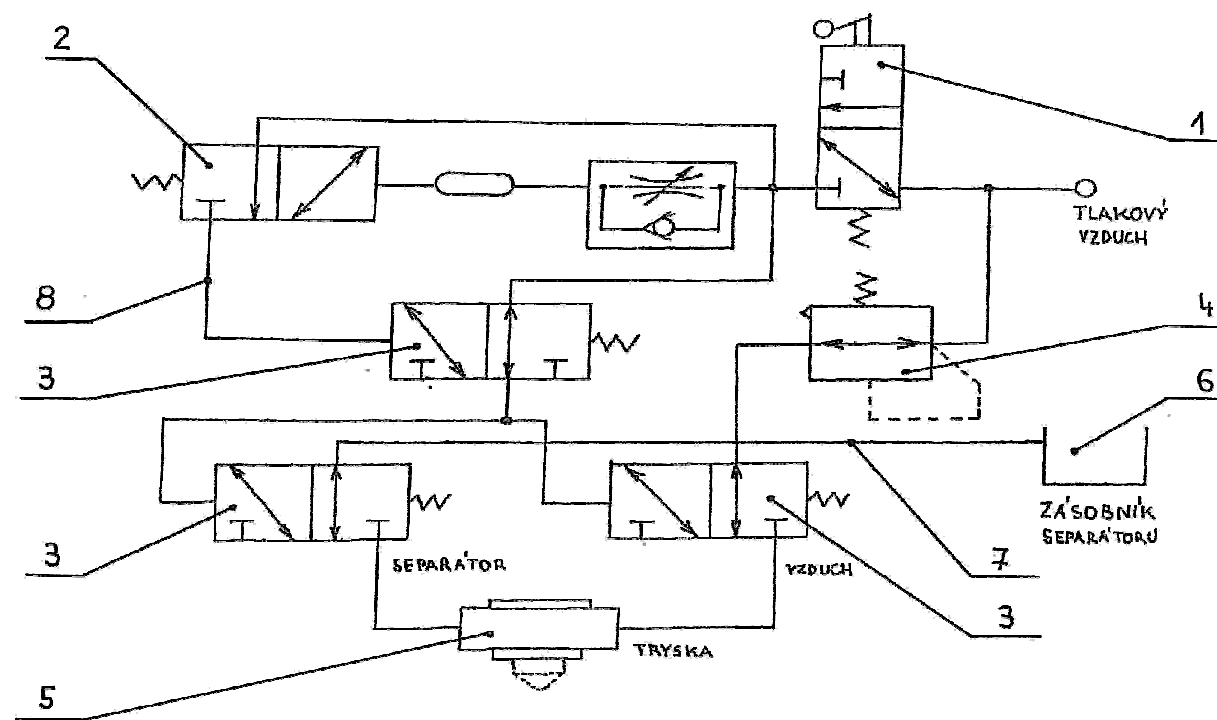
Příloha P3: Technický list výrobku 32276

Příloha P1: Model vozíku postřikové jednotky



- 1: Spojovací tyč
- 2: Pojezdové kolečko (ložisko)
- 3: Příčná tyč
- 4: Podélná tyč
- 5: Držák trysky
- 6: Doraz pro ventil s kladkou
- 7: Doraz

Příloha P2: Schema zapojení jednotky a kusovník



Postřiková jednotka – KUSOVNÍK

Poz.	Název	Výrobce	Označení	Strana v katalogu	Počet kusů
1	Mechanicky ovládaný ventil	Waircom	CLR8	3.18	1
2	Ventil s časovým zpožděním	SMC	VR2110	5-7-9	1
3	Pneumaticky ovládaný rozváděč	Stránský & Petržík	2532 7090 0600 0001	6-11	3
4	Mikroregulátor tlaku	SMC	IR1000	14-5-1	1
5	Tryska	Spraying Systems CZ	1/4 J - SS	270 - 271	4
6	Zásobník separátoru	-	-	-	1
7	Hadice Ø6 mm	Stránský a Petržík	3030 0006 0600 0015	10-9	1
8	Hadice Ø8 mm	Stránský a Petržík	3030 0008 0600 0015	10-9	1

C-0040